

tanulmányok 95 / 1979

MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet Budapest



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS AUTOMATIZÁLÁSI KUTATÓ INTÉZETE

"FESTŐROBOT VEZÉRLÉSÉRE ALKALMAS ALAKFELISMERŐ"
BERENDEZÉS

Irta:

Báthor Miklós
Galló Valentina
Kovács Erika
Mérő László
Siegler András
Vajta László

Tanulmányok 95/1979

A kiadásért felelős:

DR. VAMOS TIBOR

ISBN 963 311 086 6

ISSN 0324-2951

Készült a
KSH Nemzetközi Számítástechnikai Oktató és Tájékoztató Központ
Reprográfiai Üzemében
7220-273

T A R T A L O M

	Oldal
1. rész. CÉLKITÜZÉSEK	7.
I. IPARI ROBOTOK KAPCSOLATA KÖRNYEZETÜKKEL	8.
I.1 Korlátozott alkalmazkodóképességű i- pari robotok	8.
I.2 Intelligens robotok	10.
II. FELADAT-SPECIFIKÁCIÓ	16.
II.1 A jelenlegi festőeljárás	16.
II.2 A robotok alkalmazásától elvárt e- redmények	16.
II.3 Alakfelismerési módszerek alkalmazá- sa a festőrobot irányításában	17.
III. A TÁRGYFELISMERŐ RENDSZER KIALAKÍTÁSA	19.
III.1 A rendszer kialakításának elvei	19.
III.2 A lemezfelismerő rendszer felépi- tése	21.
Irodalom	24.
2. rész. A RENDSZER MŰKÖDÉSI ELVE, ALGORITMUSOK	25.
IV. GEOMETRIAI JELLEMZŐK FELHASZNÁLÁSA A FEL- ISMERÉSBEN	26.
IV.1 A tanuló tárgyfelismerő rendszer mű- ködése	26.
IV.2 A tárgy képeinek meghatározása látó- mezőben	26.5
IV.3 A tárgy külső konturjának meghatáro- zása	27.
IV.3.1 Chow algoritmus	28.
IV.3.2 A szürkeségi küszöbérték ki- számítása	28.
IV.3.3 Konturpontok detektálása	30.
IV.3.4 A kontur tárolása a memó- riában	30.

IV.3.5 Felfüggesztő elemek leválasztása	30.
IV.4 Durva jellemzők kiszámítása	33.
IV.4.1 A kontur által bezárt terület	33.
IV.4.2 A konturvonal hossza	34.
IV.4.3 Excentricitás	34.
IV.4.4 A tárgy centroidja	34.
IV.4.5 A kontur áttranszformálása polárkoordináta-rendszerbe	34.
IV.4.6 Fourier-együtthatók, mint alakjellemzők	35.
IV.5 A modellek szelektálása a durva jellemzők	37.
IV.6 Elforgatott tárgyak azonosítása	37.
IV.7 Finom jellemzők	38.
IV.7.1 A durva jellemzőkkel végzett vizsgálat eredménye	38.
IV.7.2 Speciális operátorok	38.
IV.8 A speciális operátorok működése	41.
IV.8.1 Nagy lyukat kereső operátor	41.
IV.8.2 Kis lyukat kereső operátor	42.
IV.8.3 Kiszögellést kereső operátor	42.
IV.8.4 Élkereső operátor	42.
IV.8.5 Sarokkereső operátor	45.
V. A TÁRGYAK FELISMERÉSE	48.
V.1 A tárgymodellek szerepe a felismerésben	48.
V.2 Tárgyfelismerő algoritmus	48.
V.2.1 A kiszámítás menete	49.
V.2.2 Az algoritmus tulajdonságai	49.
V.2.3 Példa lemez-szerű tárgyak felismerésére	50.
V.3 A felismerő eljárás időszükséglete	51.
V.3.1 Általános megjegyzések	52.

V.3.2 A képfeldolgozás egyes lépése- inek időigénye	52.
V.3.3 Gyors képprocesszáló algoritmu- sok	54.
V.3.4 A felismerési idő csökkentése	55.
V.3.5 Az egymást követő tárgyak ösz- szehasonlítása	55.
V.3.6 A felismerés időszükséglete soro- zatban érkező azonos tárgyak ese- tén - a képek pufferekése	57.
V.4 Hibakezelés	57.
V.4.1 Felismerhetetlen tárgyak	59.
V.4.2 Időzavar	59.
VI. TÁRGYMODELLEK ELŐÁLLÍTÁSA - TANÍTÁS	61.
VI.1 A modellezés eszközei	61.
VI.2 A tanítás elve	61.
VI.3 A tanítás menete	62.
VI.3.1 Finom jellemzők megadása	62.
VI.3.2 Egy példa a modell elkészítésére . .	64.
VI.3.3 A tanító rendszer interaktív elemei	65.
Irodalom	67.
3. rész. ESZKÖZÖK ÉS MEGVALÓSÍTÁS	68.
VII. A KÉPBEVITELI HARDWARE KÉRDÉSEI	69.
VII.1 Bevezetés	69.
VII.2 Képfeldolgozó rendszerek	69.
VII.3 Képfelbontó csövet tartalmazó képdigitalizáló rendszerek	72.
VII.4 A kamerás képfeldolgozó berendezés	81.
VII.4.1 AZ IPS funkcionális elemei	81.
VII.4.2 Az IPS jellemzői	83.
Irodalom	86.

VIII. A FELISMERÉS ÉS TANÍTÁS HARDWARE ESZKÖZEI . . .	87.
VIII.1 Alternatívák a rendszer kialakítására	87.
VIII.2 A gyártósor mellett elhelyezkedő eszközök	88.
VIII.3 A felismerő rendszer "tanításához" szükséges HW	90.
VIII.4 Kapcsolódás a festőrobothoz	90.
IX. A JAVASOLT TÁRGYFELISMERŐ RENDSZER ILLESZTÉSE AZ ÜZEMI KÖRÜLMÉNYEKHEZ	93.
X. A MEGVALÓSÍTÁS FELTÉTELEI	94.

1. rész

C É L K I T Ü Z É S E K

I. IPARI ROBOTOK KAPCSOLATA KÖRNYEZETÜKKEL

I.1 Korlátozott alkalmazkodóképességű ipari robotok

A modern gépipar legfejlettebb anyagmozgató és kiszolgáló készülékei, a robotok, egyre nagyobb számban jelennek meg az iparilag fejlett országok piacain. A világon jelenleg működő robotok legtöbbje csupán korlátozott mértékben képes az adott környezethez alkalmazkodni. /1/ A tulnyomó többség merev programu, illetve átprogramozható ipari manipulátor, amelynek programozása olcsó pneumatikus vagy villamos programozóművel történik. A drágább kategóriába a felxibilis ipari robotok tartoznak, vezérlésüket ma már mikroprocesszorral végzik. A visszacsatolt helyzetérzékelő révén a robot-kar tetszőlegesen pozicionálható. A programozás gyakran úgy történik, hogy először a kart végigvezetik a kívánt trajektórián s később ez az ut automatikusan ismételhető. Az előirt trajektóriát mágnesszalagon vagy mágneslemezen lehet tárolni. A legtöbb programozható robot néhány száz lépést tud eltárolni. Finomabb mozgásokhoz néhány ezer lépés eltárolására van szükség. Az ilyen ipari robotokat számítógéppel vezérelt gépcsoportok kiszolgálására, felületük kezelésére, egyszerűbb szerelési feladatok elvégzésére használhatjuk.

A legelterjedtebb ipari robotok ismétlődő mozgássorozatokot hajtanak végre. Ennek lényege, hogy a megfogószerkezet minden mozgásciklusban a memóriába tárolt programnak megfelelően a kívánt helyzetekbe kerül. A ciklus befejezése után a megfogó a kiindulóhelyzetbe megy és a következő startjelre az egész mozgási ciklust megismétli. A mozgás során érinteni kívánt pontok közé eső pályaszakaszokat a robot a szabadságfokoknak megfelelő részmozgások párhuzamos végrehajtásával tudja megtenni akkor is, ha a programozáskor /utvonal bejárásakor/ a részmozgások egymást követőleg kerülnek végrehajtásra.

Az ipari robotok alkalmazási területüket tekintve is két cso-

portra oszthatók. A fejlettebb programvezérléssel és általában elektrohidraulikus meghajtással rendelkező univerzális robotokat ponthegeesztésre, felületkezelésre /pl. festékszórásra/, komplex termelési egységek kiszolgálására, rakodásra használják. Az egyszerűbb, merev programu robotok feladata elsősorban munkadarabok, szerszámok gyártás közbeni mozgatása, prések, fröccsöntő gépek kiszolgálása, stb.

A robotok alkalmazási lehetősége elsősorban a gyártási folyamat jellegével függ össze. Ha a gyártási folyamat egyedi, különleges, bonyolult vagy gyakran változó, akkor előnyös, ha az ember és a munkadarab közvetlen kapcsolatban van. A nagysorozatú, hosszú időn át tartó gyártást viszont speciálisan erre a célra tervezett automatákon célszerű végezni. Az ipari robot alkalmazási területe a kettő között helyezkedik el - egyszerű, ismétlődő, jelenleg emberi erővel végzett feladatokra érdemes alkalmazni őket, különösen nehéz vagy veszélyes környezeti feltételek között. Előnye, hogy a munkafolyamat megváltozása esetén a robot viszonylag egyszerűen és gyorsan átprogramozható, míg a célgépek átállítása lényeges és drága módosításokat igényel.

A Stanford Research Institute megvizsgálta az ipari robotok alkalmazásának megoszlását. A rendelkezésre álló adatok szerint a fő alkalmazási területek a felületkezelés /festékszórás/, a ponthegeesztés és a gépek kiszolgálása. Az 1981-ig szóló prognózis szerint a festékszóró robotok számaránya 26 %-ról 33 % -ra fog növekedni.

Az újabb alkalmazási területek szempontjából is lényeges kérdés az ipari robotok fejlődésének iránya. Az egyik fő tendencia az ipari robotok konstrukciójának közelítése a konkrét alkalmazási követelményekhez. A megoldás lényege a modulokból történő építkezés, aminek révén a kívánt szabadságfokú és vezérlésű berendezés kedvező áron előállítható. /2/

I.2 Intelligens robotok

A másik fő fejlődési irány az ipari robot alkalmazkodóképességének és univerzalitásának növelése. Ehhez az szükséges, hogy a robot elegendő számú szabadságfokkal rendelkezze, könnyű legyen programozni, a programok egyszerűen cserélhetők legyenek, bizonyos alakzatokat felismerjen, a környezettel való intenzív kapcsolat érdekében megfelelő érzékelőkkel rendelkezzen, amelyek segítségével képes önállóan kiválasztani az aktuálisan legmegfelelőbb programot. Nyilvánvaló, hogy olyan munkahelyeken, ahol az ember számára a huzamosabb tartózkodás, illetve munkavégzés veszélyes és áratalmas, mint pl. festékszóró kamrákban, szükség van arra, hogy az alkalmazott robotokat bizonyos helyzetfelismerő és döntési képességgel, azaz intelligenciával lássuk el. Lényegében a robotot alkalmassá kell tennünk a betanított munkás feladatának elvégzésére. A magasszintű alkalmazkodóképesség feltétele a számítógép-háttér, amely legtöbbször kisebb célfeladatokat ellátó mikroprocesszorokból és a főléjük rendelt vezérlő számítógépből áll. A robot mozgási programjait a számítógéphez kapcsolt háttértároló tartalmazza, a különféle vizuális és egyéb érzékelők és maga a robot is a számítógéphez perifériaként csatlakoznak. A számítástechnikai eszközök lehetővé teszik, hogy elkészítsük a robot környezetének és mozgásának modelljét és ennek segítségével felkészítsük a várható feladatokra.

Az autóbuszipar különösen alkalmas terület univerzális, bizonyos intelligenciával rendelkező robotok alkalmazására. Itt ugyanis közepes sorozatban, rugalmas módon kell tudni gyártani. Nincs lehetőség költségesen átállítható célautomaták alkalmazására, az alkalmazott kiszolgáló, felületkezelő, stb. berendezéseknek taníthatónak, rugalmasan felhasználhatónak kell lenniük a piaci feltételeknek megfelelő gyors termékváltás érdekében. Irányításuk a valóságos környezet terminológiáinak felhasználásával kell történjen, különösebb számítástechnikai ismeretek nélkül is tudni kell betanítani őket.

A következőkben áttekintjük az intelligens robotok gyakorlati célokra történő alkalmazásait. Ezek jelenleg világszerte még kísérleti stádiumban vannak, a kísérletek elsősorban a vezető ipari országok kutatóintézeteiben és gyári fejlesztő laboratóriumaiban folynak. A praktikus célra használt intelligens robotok közös jellemzője, hogy jól meghatározott környezetben, viszonylag egyszerű geometriájú tárgyak felismerésére és egyszerűbb manipulálására vagy egyéb kezelésére képesek.

A továbbiakban elsősorban azokat az eredményeket emeljük ki, amelyek valamilyen formában az adott probléma /intelligens festőrobot/ megoldásában hasznosíthatók, illetve a járműgyártás egyéb technológiai folyamatainál alkalmazhatók.

- 1973-ban a Stanford University AI Laboratory-ban /USA/ egy robot készült, amely 10 alkatrészből tudott egy szivattyút összeszerelni. /3/ Az azóta továbbfejlesztett rendszer képes két robotkar szinkronizált működtetésére, s a kifejlesztett vezérlési nyelv lehetővé teszi, hogy a manipulátor egyes tengelyei helyett a mozgatandó alkatrész mozgását programozzuk be, a program tartalmazza a 3 dimenziós tárgyak matematikai modelljeit is.

- A Stanford Research Institute-ban /USA/ az ugynevezett "Mesterséges Intelligencia Projekt" keretében tárgymanipulációval és vizuális visszajelzéssel foglalkoznak. A munka lényege, hogy egy 6 szabadságfoku, /5 forgási egy egy lineáris elmozdulási lehetőséggel rendelkező/ robot-kar segítségével, vizuális információk felhasználásával egyszerű geometriájú /blokk-szerű/, definiálatlan helyzetű tárgyak megfogását és mozgatását végzik el. A kezelő feladata csupán a kiválasztott tárgy nevének, kívánt pozíciójának és orientációjának megadása - ebből egy program generálja a kar számára a végrehajtáshoz szükséges mozgást. A tárgy "megtalálását" a TV kamera által szolgáltatott jelek számítógépes feldolgozása teszi lehetővé. A rendszer a mozgás kezdő és végpontjának ismeretében önállóan képes kiszámítani a mozgási trajektóriát és saját maga állítja össze a tevékenysé-

gi programot. A televíziós képet feldolgozó algoritmus képes megtalálni a tárgy csucsait, éleit és sarkait, s a bevitt információ alapján azonosítani azt. A képfeldolgozás ideje kevesebb, mint 200 ms. /5/ A tárgy helyzetének meghatározásához a program a megfogószerkezet pontos helyzetéről rendelkezésre álló információt is felhasználja; a pontos feladat-végrehajtást segítik továbbá a kézen elhelyezett tapintó és nyomás érzékelők is. A rendszer néhány technikai jellemzője:

- A felismerés és magasszintű vezérlés 28K 16 bit-es PDP-11/40 miniszámítógépen fut
- A robot-kar vezérlése LSI-11-es mikroszámítógéppel történik.
- A robot-kar 6 tengelyes Unimate 2000 B típusu.
- Érzékelés: TV kamerák, 6 szabadságfokú erő-nyomaték érzékelő.

Megoldott problémák:

alkatrészek kiemelése dobozból
konveyoron érkező tárgyak pozicionálása
szegecsek helyezése lyukas tárcsába
szivattyúház szerelése
festőrobot vezérlése sablonnal történő festésnél.

A vizuális analízis területén elsősorban tárgyaknak durva jellemzők segítségével történő felismerésével foglalkoznak. Megoldották az összefüggőség kérdését: a kamera látóterében egyszerre több alkatrész is lehet: képesek ezeket szétválasztva egyenként felsimerni.

- Az MIT Mesterséges Intelligencia Laboratórium /USA/ "Little robot" elnevezésű manipulátorával 11 µm tűrésű illesztési feladatokat végeznek erőnyomaték visszacsatolás segítségével.

Alkalmazott számítógép: PDP 11

Kar: 4 szab.foku, elektromos működtetésű

A robot programozása speciális robot-vezérlő nyelv segítségével történik - az operátor által megadott komplex parancsokból a program maga generálja a kívánt trajektóriát. A számítógép

tárolja a szerelésre kerülő alkatrészek modelljeit, a modellezés a PADL alkatrészeleíró geometriai programcsomag segítségével történik. /6/

- az Olivetti Corp. /Olaszország/ SIGMA rendszere két kart koordinál, és üzemi körülmények között /írógépszerelés/ működik. A SIGMA robotok programozása explicit módon, szimbólikus parancsokkal történik, amelyekből alkalmas könyvtári modulok hívását idézik elő. A tanítás alatt a kezelő egy vezérlőkar segítségével a robotkezeket végigvezeti a kívánt pályán. A szerszámváltás a mechanikai kiképzés révén igen egyszerű. /7/

- Az intelligens robotok ipari alkalmazásának terén igen dinamikus fejlődés figyelhető meg Japánban. A Japan Industrial Robot Association által közölt statisztikából és előrejelzések-ből kiderül, hogy az autógyártás festőmunkálatainál a fejlett festőrobotok gyakorlati bevezetése 1977-78-ra, széleskörű elterjedése 1980-83-ra várható. A robotok többsége visszajátszó típusu, azaz a kívánt trajektórián a kezelő vezeti végig a robot-kart, majd a gép a továbbiakban automatikusan járja be a kívánt pályát. A magasan fejlett festőrobotokkal szemben ma már az az elvárás, hogy olyan festékszóró technológiákkal lehessen használni őket, ahol változó formájú, bonyolult profillal rendelkező alkatrészeket kell festeni egy mozgó szállítószalag mentén. /8/ A japán autóipar már megtette az első lépéseket e célok felé. Ha az ipari festőrobotok képesek lesznek bonyolult, gyakran változó tárgyak gyors festésére, az előrejelzés szerint számuk 1985-ig kb. 4000-re nő Japánban.

Az intelligens robotok elterjedése az idézett cikk szerint elsősorban a technológiai fejlődéstől függ. A Japan Industrial Robot Ass. előrejelzése szerint szerelőrobotok gyakorlati alkalmazása szélesebb körben 1980 körül kezdődhet meg, míg az alakfelismerő képességgel rendelkező robotok elterjedése 1985 körül várható. Az intelligens robotok - mai technikai fejlettségük mellett - néhány uttörő cégnél már 3 éven belül bevezetésre kerülnek, de a gyors és nagyarányú felfutás csak kb. 10

év múlva várható.

Az intelligens robotok fejlesztése jelenleg Japánban is a nagy ipari kutatóintézetekben folyik. Említésre méltóak a Tokiói Elektronikai Laboratóriumban és a Hitachi Központi Kutatólaboratóriumban végzett kísérletek. Az előbbi helyen olyan intelligens szem-kéz rendszert dolgoztak ki, amely képes egyszerű geometriájú 3 dimenziós alakzatok vizuális detektálására és felismerésére, a felismert tárgyak mozgatására és összeépítésére vizuális visszacsatolás felhasználásával. /9/ A Hitachi cég egyik rendszere tárgyaknak tervrajz alapján történő automatikus összeszerelésére képes. /10/ Egy másik Hitachi kísérletben ipari tárgyak alakfelismerés alapján történő robotos szétválogatását valósították meg. A kísérlet tárgyfelismerési része hasonló ahhoz, amit az alakfelismeréssel segített festőrobotnál kívánunk az IKARUS-ban megvalósítani: egy, a futószalag mozgásához szinkronizált robot-kar leemeli a szalagról az egymás után érkező tárgyakat és előre megadott pozícióban helyezi le őket egy szerelőasztalra. Ez úgy lehetséges, hogy a számítógép előre ismeri a lehetséges tárgyakat, a vizuális input alapján azonosítja őket, valamint elhelyezkedésüket a futószalagon, s ennek alapján vezérli a manipulátort. A tárgyfelismerés kétdimenziós, mintaösszehasonlító módszerrel /"teplate matching"/ történik. A felismerendő tárgyak fényes felületűek, fekete matt háttér előtt helyezkednek el - a számítógépbe akkor történik képbevitel, amikor a látómezőben a fényes pontok száma hirtelen megnő. A tárgyfelismerés ideje 1 sec alatt van, a képfeldolgozáshoz és robotvezérléshez egy 32K szó /16 bit/-es kisszámítógépet alkalmaznak.

- Az utóbbi években hazánkban is megindultak a kísérletek az ipari robotok intelligenciájának fokozására. Az MTA-SzTAKI-ban 1975 óta folyó kísérletek ipari jellegű tárgyak modellek alapján történő 3 dimenziós felismerését és manipulálását tűzték ki célul. A kísérletek egy 16K szó /16 bit/-es R10 kisszámítógép felhasználásával folynak. Kifejlesztésre került egy vizuális képbeviteli egység, valamint egy Descartes-koordinátás és egy

Stanford-típusu robot-kar mechanikai érzékelőkkel. A hazai kutatások célja egy, a 80-as években az iparban alkalmazható intelligens szerelőrobot kifejlesztése. /11/, /12/

II. FELADAT-SPECIFIKÁCIÓ

II.1 A jelenlegi festőeljárás

Az IKARUS gyártócsarnokában a lemezszerű autóbusszalkatrészek felületkezelése jelenleg úgy történik, hogy a munkadarabokat emberi közreműködéssel egy igen hosszú és bonyolult pályájú szállítószalagra függesztik fel egymástól adott távolságra, s a lemezek a konveyor folyamatos előrehaladása közben keresztülmennek a különböző munkafolyamatokon. Ezek közül a legproblematisabb a lemezelemek végső festése. A festés jelenleg egy zárt festőkamrában, emberi munkával történik: a szállítószalag folyamatos mozgása közben egy dolgozó festékszóró berendezés segítségével festi le a munkadarabokat. Ez a munka az emberi egészségre igen ártalmas és megerőltető, így igen nehéz a berendezés kezeléséhez megfelelő munkaerőt találni.

A jelenlegi gyártás jellegzetessége, hogy egy-egy azonos típusú lemez nagy sorozatban érkezik. Ebből önként adódik a festés automatizálásának lehetősége.

II.2 A robotok alkalmazásától elvárt eredmények

A közeljövőben realizálandó terv szerint festőrobotok beszerzésére és installálására nyílik lehetőség. E robotok működésének lényege, hogy véges számú fix festőprogramot tudnak "megtanulni" "megjegyezni" és "visszajátszani". A robotok tanítása várhatóan a kívánt mozgáspálya emberi vezérlés melletti bejáratásával történik. Az így betáplált trajektóriát a berendezés egy háttértárolón /mágneslemezen vagy mágnesszalagon/ rögzíti. A tényleges festésnél a kezelő megnézi, hogy milyen lemez került a festőberendezés elé, s a vezérlőpult tasztaturáján beüti az annak megfelelő program sorszámát. A festőeljárás korszerűsítésének első fázisában az automatizáltságnak erre a szintjére kell a gyártási technológiát fejleszteni.

II.3 Alakfelismerési módszerek alkalmazása a festőrobot irányításában

Kísérleti jelleggel már most szükségesnek látszik felkészülni az automatizáltság magasabb szintre emelésére. Ezt a következők indokolják:

- Amint azt az I.2 fejezetben leírtak is mutatják, ma már világszerte napirenden van az intelligens robotok gyakorlati alkalmazásának kérdése.
- A tapasztalatok azt mutatják, hogy alakfelismerési és döntési képességgel rendelkező berendezések bevezetésére ott kerül sor, ahol azt a munkakörülmények emberre ártalmas jellege megköveteli, illetve ahol ezt a munkaerőhelyzet indokolja.
- Az intelligens robotok ipari bevezetése a fejlett ipari országok olyan termelővállalatainál kezdődött meg, ahol a gyártás többféle technológiai lépésénél is alkalmazhatók az ember bizonyos szellemi jellegű feladatait is átvenni képes berendezések. Erre a legjellemzőbb példákat a nagy autógyárakban találjuk. Pl. hegesztési, munkadarabtovábbítási, festési és egyszerűbb szerelési munkálatokat végeztetnek robotokkal.

A fentiekben vázolt körülmények egyértelműen jellemzők az IKARUS-ra. Ez az üzem igen korszerű gyártmányokat állít elő, a gyártás jellege megköveteli a magasfoku automatizáltságot. A termelés különböző fázisaiban sok, automatizálásra alkalmas gyártóeljárást találunk. Az IKARUS munkaerőhelyzete a fejlődésnek ezt az irányát ugyancsak indokoltá teszi. Különösen áll ez a festőüzemre, ahol igen nehéz, az egészségre ártalmas körülmények között kell a munkát végezni. A festőrobot bevezetésével e munka egyszerűbbé és elviselhetőbbé válik, de továbbra is az ember állandó jelenlétére lesz szükség. Az automatikus munkadarab-azonosítás bevezetése után is szükség lesz várhatóan az emberi ellenőrzésre, de ez egy ember munkaerejének csupán kis részét fogja lekötöni és nem igényel különösebb kvalifikáltságot, nem szükséges továbbá, hogy az illető közvetlenül az egészségre ártalmas munkahelyen tartózkodjon. Emellett a lemezfestés intelligens automatizálásával kapcsolatos kísérletek,

illetve az azokból nyert tapasztalatok utat nyithatnak egyéb technológiai folyamatok robotosítása felé is.

III. A TÁRGYFELISMERŐ RENDSZER KIALAKÍTÁSA

III.1 A rendszer kialakításának elvei

A lemez-felismerő berendezés kialakításánál az alábbi körülményeket és feltételeket vettük figyelembe:

- Tekintetbe véve az üzemi körülményeket /lsd.IX. fejezet/ célszerűnek látszik a rendszert több, térben elkülöníthető komponensre bontani, és a festőtechnológia mellé csak a minimálisan szükséges hardware-t tenni. Ez utóbbi berendezés végzi a konveyoron érkező lemezek azonosítását. A tárgyfelismerés előre "megtanított" modellekkel való összehasonlítás révén történik, amelyeket egy háttértárolón /mágneskazettán vagy floppy diszken/ tárolunk. Maga a tanítás, azaz a modellek elkészítése, a gyártási folyamattól elkülönítve, pl. egy számítóközpontban történik egy operátor közreműködésével. Ehhez már nagyobb kapacitású, esetleg már meglévő berendezéseket lehet felhasználni, amelyek csak részben szolgálnának a lemez-felismeréssel kapcsolatos számítási feladatok ellátására.
- A javasolt rendszer kialakítása olyan, hogy annak felügyeletét egy, a számítástechnikában járattan személy is elláthatja. Összetettebb emberi tevékenységre elsősorban az új tárgymodellek "betanításánál" van szükség. Ez számítástechnikai ismereteket nem igénylő, de mérnöki jellegű munka. /lsd.VI. fejezet/. Ilyen tevékenységre azonban csak egy új gyártmány bevezetésénél van szükség, ami viszonylag ritkán fordul elő, tehát egy kvalifikált munkaerő munkaidejének csupán igen kis részét veszi igénybe.
- Az intelligens festőrobot software-jének kialakításánál ugyan csak lényeges előfeltétel volt, hogy a lemezmodellezés "élő" képek alapján, s ne geometriai leírással történjék. Az általunk javasolt eljárás ezt a feltételt teljesíti, sőt a modellezés során a rendszer ellenőrzi is a tanító személy tevékenységének helyességét. /VI. fejezet/

- Természetes elvárás az, hogy a javasolt berendezés a gyártmányszerkezet tetszőleges megváltoztatásával függetlenül használható legyen. Az IV.-V. fejezetekben leírt felismerő eljárás tervezésénél csupán a lemezszerű munkadarabok legáltalánosabb jellemzőit vettük figyelembe, s a rendszer, illetve a programok kialakítása teljesen független a pillanatnyi gyártmánystruktúrától. Lényegében az egyetlen feltétel az, hogy e felismerendő munkadarabok a háttértől jól elkülönülő egyszínű, a befestendő felületekkel egyértelműen jellemezhető lemezszerű tárgyak legyenek. Figyelembe vettük, hogy a befestendő munkadarabok általában síkszerűek, jellemző rájuk, hogy legnagyobb kiterjedésük a szállítószalaggal párhuzamos, függőleges síkban van, és az erre a síkra merőleges irányból jól megkülönböztethetők. /A festés jelenleg is ebből az irányból történik./
- A javasolt felismerő rendszer ellenőrzési feladatok ellátására is képes. Amennyiben egy programozható festőrobotot kerül beállításra, úgy várhatóan a festendő tárgyaknak a szállítószalagon való elhelyezésével szemben igen szigorúak lesznek a követelmények. Ennek oka az, hogy egy felismerő képességgel nem rendelkező festőrobot egy-egy programjának indításakor feltételezi, hogy a festendő lemez mindig azonos helyen és helyzetben van. Ennek a feltételnek a teljesülése gyakorlatilag attól függ, hogy a lemezeket hogyan függesztik fel a szállítószalag elején.

A javasolt felismerő rendszer működőképessége teljesen független a szállítószalagra felfüggesztett tárgyak helyzetétől. /IV. fejezet/. Sőt, arra is képes, hogy az előre megadott referencia-helyzethez képesti eltérést is megadja. Ezt a lehetőséget többféleképpen is kihasználhatjuk:

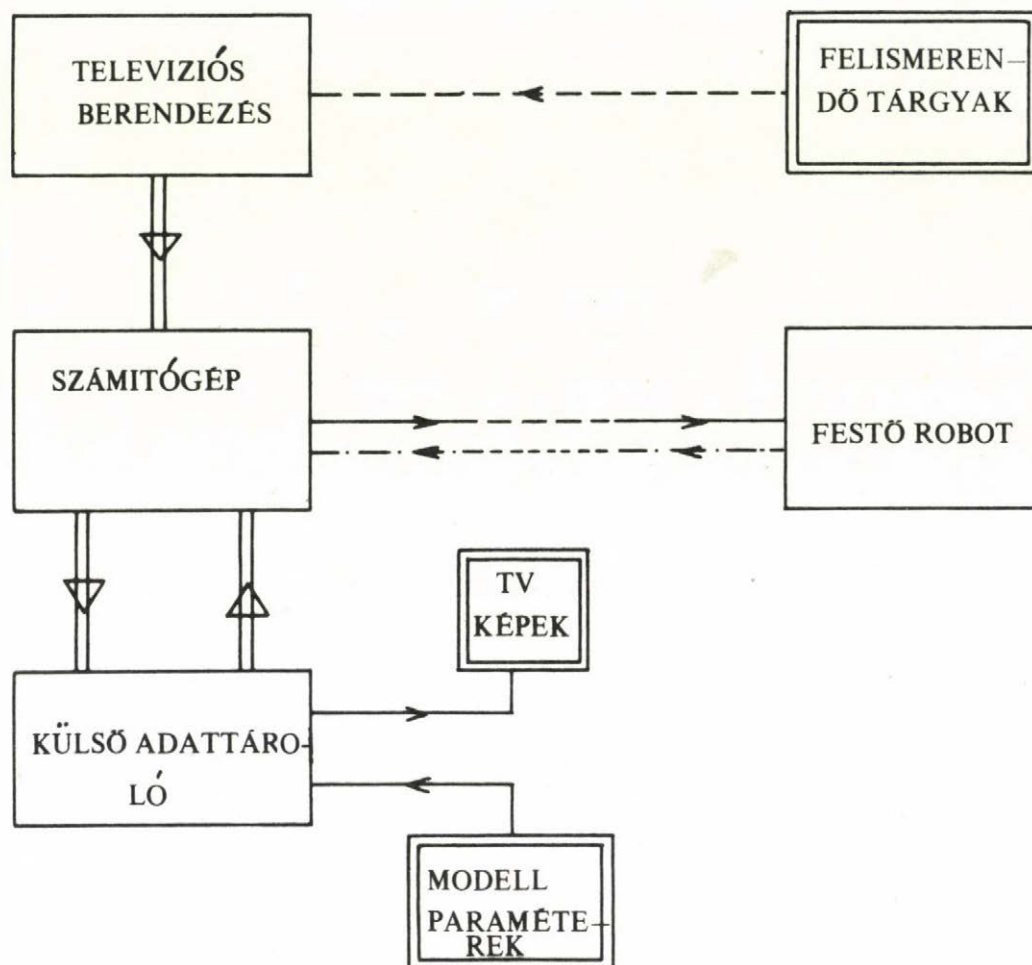
1. A robotvezérlő egyszerűbb kiépítése esetén a felismerő berendezés segítségével letilthatjuk a rosszul felfüggesztett lemezek festését.
2. Amennyiben lehetőség van a robotvezérlés bővítésére, a festőrobot nemcsak a festendő tárgy, illetve a következő festő-

program azonosítóját kaphatja meg a felismerő berendezéstől, hanem a festőprogram indításakor szükséges pozíciót és orientációt is. Ezáltal bizonyos flexibilitást engedhetünk meg a lemezek felfüggesztésével szemben.

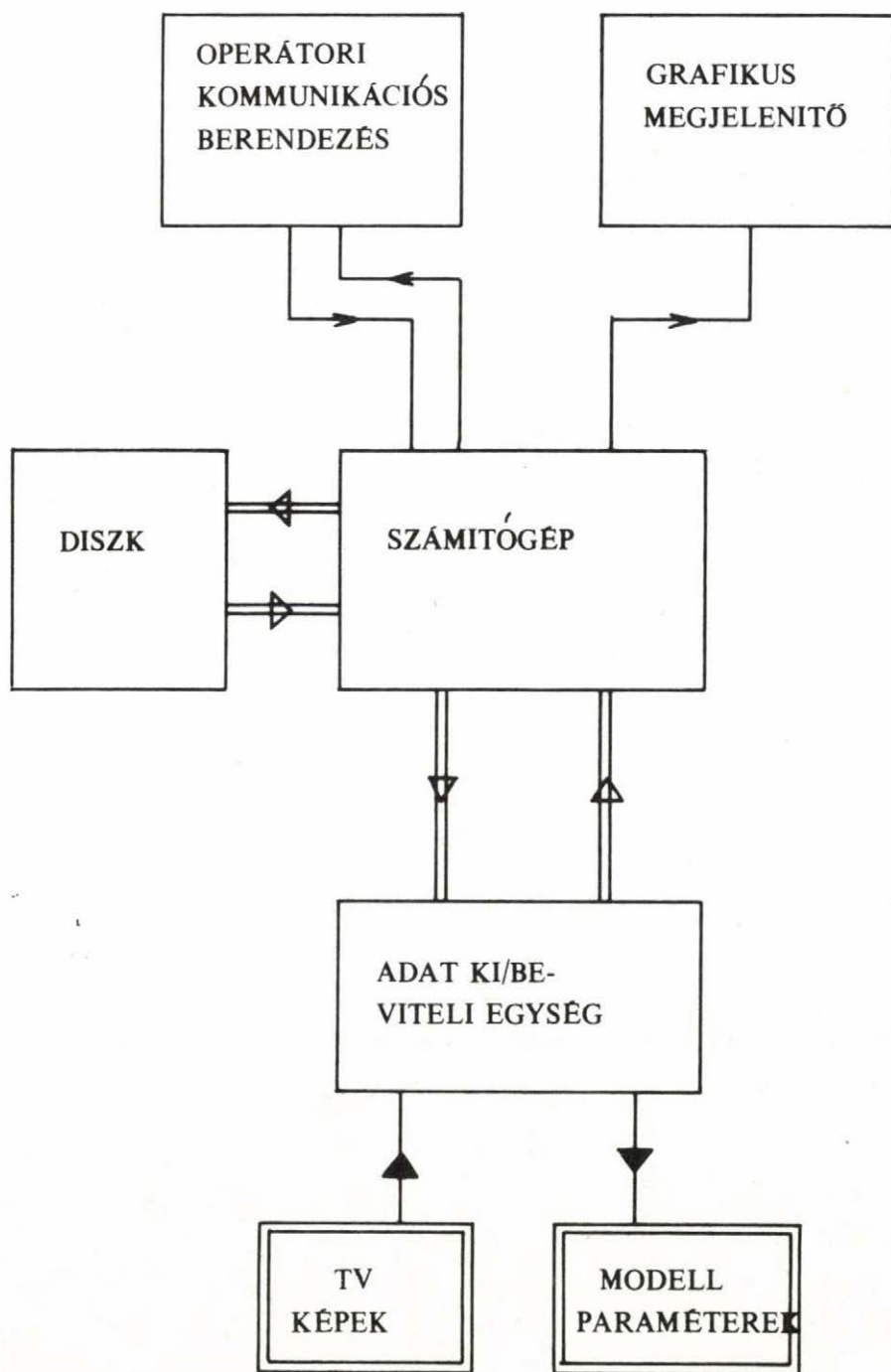
III.2 A lemezfelismerő rendszer felépítése

A II.3 pontban vázolt elvek alapján a lemezfelismerő rendszert az alábbi módon javasoljuk kialakítani:

1. A gyártási folyamat /szállítószalag/ mellett történik a lemez-munkadarabok felismerése, a rendszer tanításához szükséges televíziós képek rögzítése, továbbá a tanult adatok átadása a felismerő rendszernek. A III.1 ábra az ehhez szükséges berendezés elvi vázlatát mutatja. A berendezés a HW kérdéseivel a VII. és VIII. fejezet, a működéshez szükséges programokkal ill. algoritmusokkal a IV. és V. fejezet foglalkozik részletesen.
2. A felismerendő tárgyakat előzetesen meg kell ismertetni a felismerő rendszerrel. Ennek a tanítási procedurának a lényege az, hogy a kezelő /operátor/ irányítása mellett létrejön a lehetséges tárgyakat /munkadarabokat/ leíró adatok halmaza. A III.2 ábra az ehhez szükséges berendezés vázlatát mutatja. A berendezés a gyártófolyamattól elkülönítve, pl. egy számítóközpontban kerül elhelyezésre. A felismerő rendszerrel a kapcsolat off-line jellegű, az adatok egy külső adathordozón kerülnek át egyik berendezéstől a másikhoz. A tanítással kapcsolatos algoritmusokat ill. software-t a VI. fejezet ismerteti, a tárgyleíráshoz szükséges eszközökkel a VIII. fejezet foglalkozik.



III. 1. ábra



III. 2. ábra

I R O D A L O M

- /1/ Industrieroboter - Irrweg oder Notwendigkeit
G. Hermann; Fördern u. Heben 26/1976/ Nr. 15, p 34-37.
- /2/ Manipulátorok és Ipari Robotok Alkalmazása - Tanulmány
dr.Helm László, Nemes László; MTA-SzTAKI 1976.
- /3/ Visual Feedback and Related Problems in Computer
Controlled Hand-Eye Operation
A. Gill; Stanford AI Memo 178, Oct. 1972.
- /4/ Machine Intelligence Research Applied to Industrial
Automation
G.Rosen and al.; SRI Report 1976
- /5/ Vision system for inspection and for manipulator control
G.J. Agin Proceedings of 1977 Joint Automatic Control
Conference, USA
- /6/ Assembly by Robots - M. Salmon; The Industrial Robot,
June 1977.
- /7/ The Little Robot System, MEMO 273, MIT AI Laboratory
Cambridge, Ma., Jan. 1973.
- /8/ Present State and Future Outlook for Industrial Robots in
Japan - K.Yanemoto, K.Shiino; The Industrial Robot, Dec.
1977.
- /9/ Guiding a Robot by Visual Feedback in Assembly Tasks -
Y. Shirai, H. Inoue; Pattern Recognition, Vol.5. p.99.,
1973.
- /10/ A Prototype Intelligent Robot that assembles Objects from
Plan Drawings - M. Ejiri and al.; IEEE Tr. on Computers,
Vol. C-21, no.2, Febr. 1972.
- /11/ The Budapest Robot - T. Vámos, Z. Vassy; MTA-SzTAKI
Tanulmányok, 30/1974.
- /12/ Proc. of the 1st Hung. Computer Science Conf.,
Budapest, 1977.

2. rész

A R E N D S Z E R M Ű K Ö D É S I E L V E
A L G O R I T M U S O K

IV. GEOMETRIAI JELLEMZŐK FELHASZNÁLÁSA A FELISMERÉSBEN

IV.1 A tanuló tárgyfelismerő rendszer működése

A következőkben a működési elv oldaláról ismertetjük az általunk javasolt képfelismerő rendszert, ami alkalmas arra, hogy ipari tárgyakat azonosítson kétdimenziós képük alapján. A felismerő rendszer számára a felismerendő tárgyak operátor segítségével megtanithatók, és felismerhető tárgyak halmaza tetszés szerint bővithető illetve szűkíthető.

A felismerő rendszer minden tárgynak a modelljét a memóriájában tárolja. Azt, hogy az egyes tárgyak modelljei milyen adatokat tartalmaznak, a későbbiekben specifikáljuk.

A felismerés menetének főbb lépései a következők:

1. A program ellenőrzi, hogy valóban látható egy tárgy a képen, és a tárgy nem lóg-e ki a látómezőből.
2. Meghatározza a képen látható tárgy körvonalait, és kiszámítja ebből néhány egyszerű durva jellemzőt.
3. Ellenőrzi a modellek révén ismert hasonló durva jellemzők alapján, hogy első közelítésben mely tárgyak jöhetnek egyáltalán szóba.
4. Ha a durva jellemzők szerint még több tárgy is szóba jön, akkor speciális operátorok segítségével megkeressük a kép finomabb jellemzőit is, amelyek alapján eldönthető, hogy melyik tárgyat látjuk.

A következőkben részletesen leírjuk a négy lépés végrehajtásának algoritmusait.

IV.2 A tárgy képének meghatározása a látómezőben

Feltételezzük, hogy a háttér teljesen sötét, így a tárgyakról kapott képpontok világosabbak a háttérnél /azaz alacsonyabb

szürkeségi szintűek/. Ezért először is megvizsgáljuk, hogy a kép szélén található-e egy fekete keret. Ennél a vizsgálatnál figyelembe kell venni, hogy a tárgy felfüggesztésére szolgáló elemek is szerepelnek a képen, tehát a keret felső oldalán néhány világosabb csík még megengedett. A felfüggesztő elemek egyébként a háttérrel azonos színűre is festhetők. Az ellenőrzés végrehajtása úgy történik, hogy a kép szélén felvéve egy pl. 10 képpont szélességű keretet, ha ez a keret teljesen fekete lenne, akkor a keretben a szürkeségi szintek összege egy T_0 szám lenne. Ha a keretben a szürkeségi szintek összege egy T'_0/T_0 -nál valamivel kisebb/ küszöbszámot meghalad, akkor úgy döntünk, hogy a tárgy nem lóg ki a képből.

El kell még döntenünk azt is, hogy van-e egyáltalán tárgy jelen a képen. Ezt szintén az előző technikával ellenőrizhetjük: ha nincsen tárgy jelen a képen, akkor a kép fekete, így a szürkeségi szintek összege egy T_1 szám. Ha a képen a szürkeségi szintek összege egy T'_1 küszöbszám fölött van, akkor úgy döntünk, hogy nincsen jelen tárgy a képen. A T'_0 és a T'_1 számok gyakorlati kísérletekkel állíthatók be és a tárgyak felületi kiképzésétől függenek.

A most leírt ellenőrzés annyira gyors, hogy folyamatosan /akár néhány századmásodpercenként/ is ellenőrizhető, vajon érkezett-e tárgy a szalagon a kamera elé. Ha azonban a másik típusú hiba fordul elő, azaz a tárgy kilóg a képből, akkor a program hibát jelez. Ugyanez történik akkor is, ha a tárgyat nem sikerül felismerni. /Például azért, mert a tárgy hibás./ Ez azonban csak a felismerés további lépéseiben derül ki.

IV.3 A tárgy külső konturjának meghatározása

Meghatározzuk a képen látható tárgy külső konturját, azaz a tárgy körvonalait. Első közelítésben még az esetleg látható felfüggesztő elemek körvonalait is a tárgyhoz tartozónak vesszük, utána azonban ezeket a program leválasztja, és így kapjuk meg magának a tárgynak a konturját.

IV.3.1 Chow algoritmus

A kontur pontjainak meghatározására az egyik legmegbízhatóbb módszer Chow algoritmus. /1/ Az algoritmus alapgondolata az, hogy ha egy konturpont környezetében felvesszünk a képen egy ablakot, akkor abban az ablakban a kép szürkeségi szintjeinek eloszlása bimodális, ugyanis a szürkeségi szinthisztogramban /IV.1. ábra/ két csucs lesz, t.i. egy a háttérre, egy pedig a tárgyra jellemző szürkeségi szint-értékek közül.

Ha megkeressük a két csucs közötti völgy mélypontjához tartozó T szürkeségi küszöbértéket, akkor konturpontot detektálhatunk az ablakban azokban a pontokban, ahol a szürkeség átlépi ezt a T számot.

IV.3.2 A szürkeségi küszöbérték kiszámítása

T meghatározását úgy végezhetjük, hogy feltételezzük: valamely A ablakban az f képfüggvény $f_A(x)$ szürkeségi szint-eloszlása két normális eloszlás keverésével adódott, amelyek várható értéke ill. szórása μ_1, σ_1 ill. μ_2, σ_2 . Legyen az ablakban a tárgy és a háttér területének aránya $\rho_1:\rho_2$ ($\rho_1+\rho_2=1$), ekkor

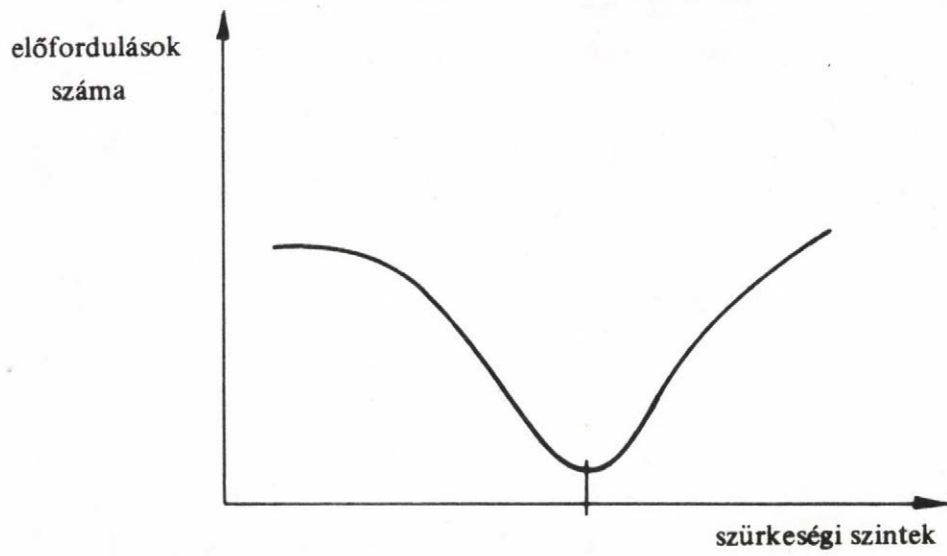
$$f_A(x) = \sum_{k=1}^2 \frac{\rho_k}{\sigma_k \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_k)^2}{2\sigma_k^2}}$$

Ebből meghatározhatók a $\sigma_1, \mu_1, \sigma_2, \mu_2, \rho_1, \rho_2$ paraméterek úgy, hogy az

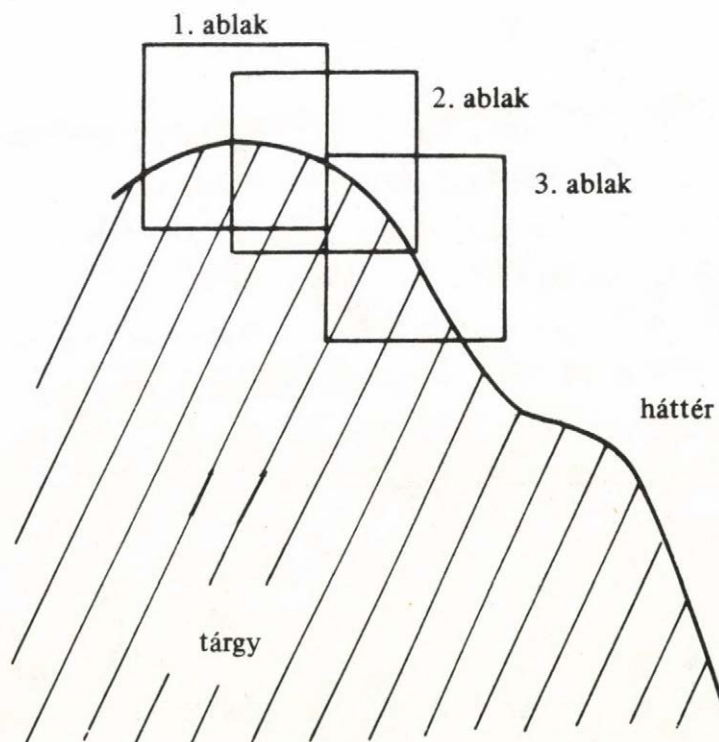
$$\iint_A (f(x) - f_A(x))^2 = H(\sigma_1, \mu_1, \sigma_2, \mu_2, \rho_1, \rho_2)$$

hiba minimális legyen, és a paraméterek ismeretében T értéke meghatározható:

$$T = \rho_1 \mu_1 + \rho_2 \mu_2$$



IV. 1. ábra



IV. 2. ábra

A kevert eloszlás szórására $\sigma = \rho_1 \sigma_1^2 + \rho_2 \sigma_2^2 + \rho_1 \rho_2 (\mu_1 - \mu_2)^2$ adódik. Ha ez a σ érték egy küszöbszám fölött van, akkor a szürkeségi szint-eloszlás valóban eléggé bimodálisnak tekinthető, ellenkező esetben az ablakban egyáltalán nem detektálunk konturpontot.

IV.3.3 Konturpontok detektálása

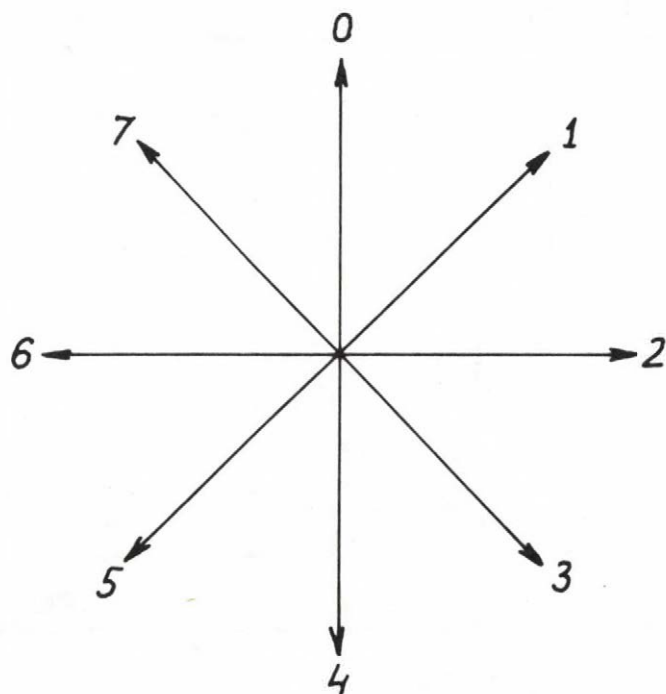
A tárgy konturpontjait sorra detektáljuk úgy, hogy egymásutáni, egymást átfedő ablakokkal követjük a konturvonalat. A kép bal oldaláról indulunk el egy ablakkal, és mindaddig toljuk jobbra az ablakot, amíg valahol konturpontot detektálunk. Ezután a következő ablakot mindig úgy vesszük fel, hogy a középpontja ott legyen, ahol a konturvonal elhagyta az előző ablakot. /IV.2 ábra/ /2/ Ez az eljárás biztosítja egyrészt azt, hogy a konturvonal folytonos legyen, másrészt azt, hogy valóban a tárgy külső körvonalát kapjuk meg.

IV.3.4 A kontur tárolása a memóriában

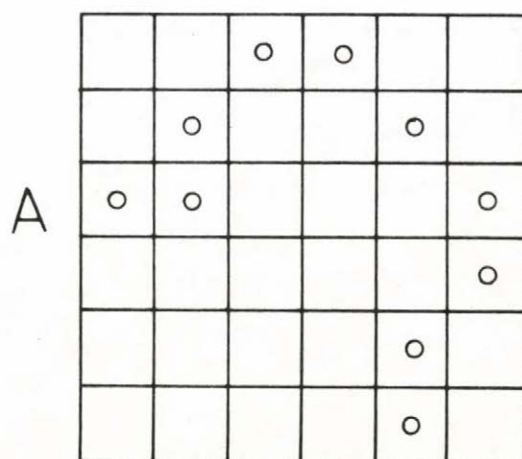
A kontur a Freeman-féle lánckódok segítségével tároljuk a gépben: /3/ egy tetszőleges konturpontból kiindulva mindig feljegyezzük, hogy a IV.3. ábrán bemutatott irányok közül a következő konturpont melyik felé esik az utolsóból. Így pl. a IV.4. ábrán ábrázolt kontur lánckódja az A pontból kiindulva 201233454 lesz.

IV.3.5 Felfüggesztő elemek leválasztása

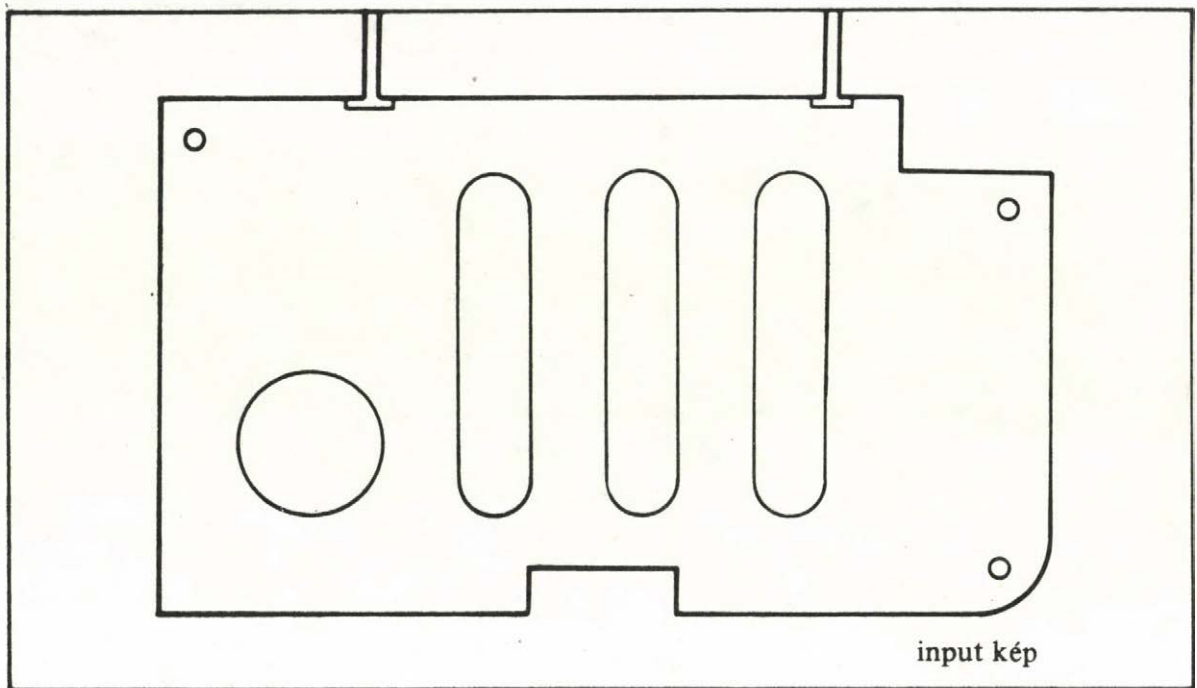
A következő feladatunk az esetlegesen látszódo felfüggesztő elemek leválasztása a képről. A felfüggesztő elemek "differencia specifica"-ja az, hogy a látómező felső oldalán kilógnak a képből. Így már a konturkövetés során megjelölhetjük azokat a konturpontokat, amelyeket a kép felső szélével határos ablakokból kaptunk. Ezekből a pontokból a további képpontok mindaddig a felfüggesztéshez tartoznak, amíg függőleges irányban követ-



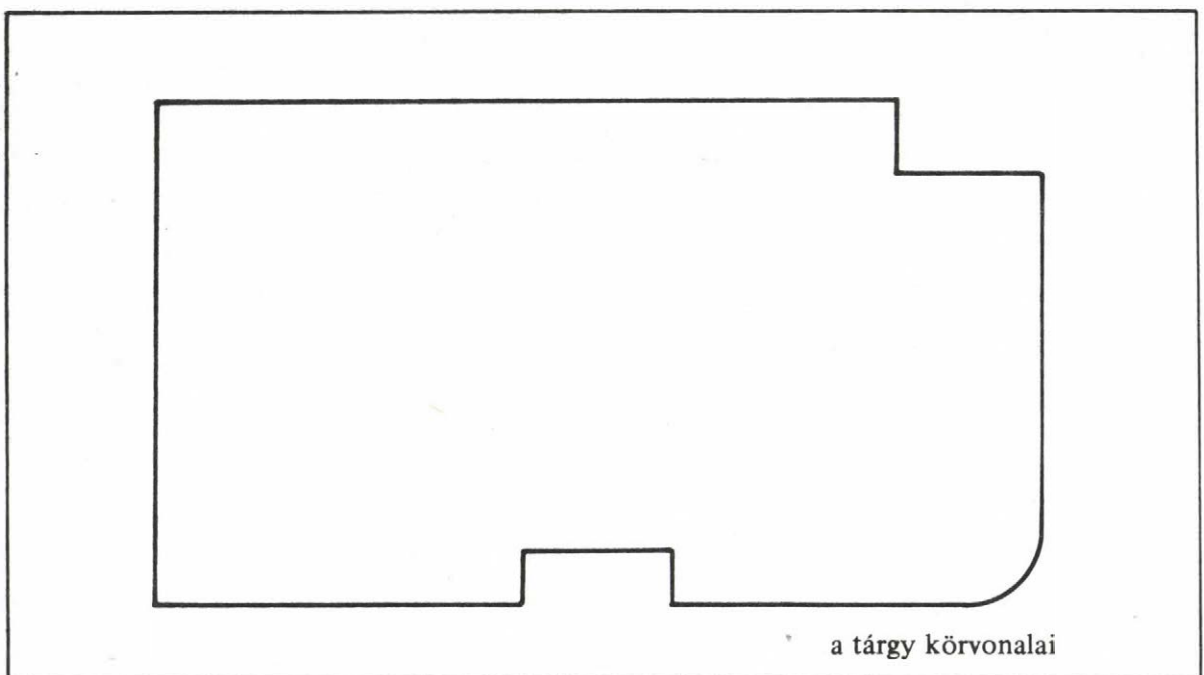
IV. 3. ábra



IV. 4. ábra



IV. 5. ábra



IV. 6. ábra

keznek egymás után. Tehát innen az egymásutáni képpontokat mindaddig a felfüggesztéshez /és nem magához a tárgyhoz/ tartozónak tekintjük, amíg a Freeman-kódok 3,4 vagy 5 értékek. Egyetlenegy más érték megjelenését még zajnak tekintjük, de második egymásutáni nem lefelé mutató érték megjelenését már a tárgyhoz tartozó pontként értékeljük. Így a felfüggesztő elemek mindkét oldalán detektáljuk az első tárgypontot, és a két tárgypontot összekötjük egy egyenes szakasszal. Ennek az egyenes szakasznak a lánckódjaival helyettesítjük az első konturban a felfüggesztő elemek körvonalaiból kapott konturpontokat, így megkapjuk magának a felismerendő tárgynak a körvonalait. A IV.5. ábra az eredeti input /TV/ képet, a IV.6. ábra az abból nyert konturt ábrázolja.

IV.4 Durva jellemzők kiszámítása

Most meghatározzuk a kép néhány olyan durva jellemzőjét, amelyek igen gyorsan kiszámíthatók, és amelyek alapján a felismerendő tárgyak legnagyobb része eleve kiszűrhető. Sok esetben /ha a képen látható tárgyhoz hasonló körvonalu nincsen több a tárgyak halmazában/ már ezek a durva jellemzők elegendőek a tárgy azonosítására.

Legyenek a tárgy körvonalának Freeman-féle lánckódjai $a_1, a_1, a_2, \dots, a_n$. Ezek a lánckódok egy önmagába visszatérő /zárt/ görbét határoznak meg.

IV.4.1 A kontur által bezárt terület

Meghatározzuk a tárgy konturvonala által bezárt görbe S területét. Ez a következő képlettel számolható:

$$S = \sum a_{ix} \left(y_{i-1} - \frac{a_{iy}}{2} \right)$$

ahol a_{ix} /ill. a_{iy} / az i-edik kód x /ill.y/-komponensét jelöli /tehát lehet 1, 0, vagy -1/; y_{i-1} pedig annak a pontnak az ordináta-értéke ahol az a_i láncelem kezdődik.

IV.4.2 A konturvonal hossza

Kiszámítjuk a konturvonal L hosszát. Ezt egyszerűen az

$$L = \sum_{i=1}^n h_{a_i} \cdot 0,948$$

képlet alapján végezhetjük, ahol $h_{a_i} = 1$, ha $a_i = 0,2,4$ vagy 6 , és $h_{a_i} = \sqrt{2}$; ha $a_i = 1,3,5$ vagy 7 . Egyszerű számítással ellenőrizhető, hogy az így kapott ivhossz-érték $+2,5\%$, $-5,3\%$ hibahatár között közelíti a tényleges ivhosszat.

IV.4.3 Excentricitás

Kiszámítjuk a $H = S/L^2$ arányt. Ezzel nagyon értékes mérőszámot kapunk, amely a tárgy "hosszukásságát" fejezi ki. Mivel az azonos kerületű görbék közül a legnagyobb területű a kör, ez a szám annál nagyobb, minél "kerekdedebb" a tárgy.

Noha H egyszerűen megkapható az S és L számokból, érdemes külön is foglalkozni vele, mert H -ban az S és L értékek közelítési hibái kiegyenlítik egymást, így H viszonylag nagyon megbízható jellemző. Ráadásul H nem érzékeny a kép kicsinyítésére ill. nagyítására.

IV.4.4 A tárgy centroidja

Határozzuk meg a tárgy centroidját. Legyenek x_1, \dots, x_n a tárgy körvonalán belüli pontok, akkor a tárgy $P_C(x,y)$ centroidját az x_1, \dots, x_n pontok súlypontjaként definiáljuk:

$$x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i; \quad y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

IV.4.5 A kontur átttranszformálása polárkoordinátarendszerbe

Tekintsük P_C -t egy polárkoordináta-rendszer középpontjának és

minden ϑ szögre /pl. 3° -onként, azaz minden $\vartheta = 3k^\circ$ -os szögre, ahol $1 \leq k \leq 120$ / határozzuk meg a kontur távolságát P_c -től a ϑ_k irányu egyenesen. Ez a szám legyen $R(\vartheta_k)$. Azért, hogy minden ϑ_k -hoz csak egy $R(\vartheta_k)$ érték tartozzon, minden egyenesen a kontur legtávolabbi, arra az egyenesre eső pontjának távolságát vegyük $R(\vartheta_k)$ -nak. /IV.7. ábra/

Ha P_c nem esik a konturvonal által határolt területre, akkor a fenti $R(\vartheta_k)$ értékeket csak $1 \leq k \leq 60$ -ra számítsuk ki, és $60 \leq k \leq 120$ -ra pedig legyen $R(\vartheta_k)$ a ϑ_{k-60} szögű egyenesen a konturvonal P_c -hez legközelebbi pontjának távolsága. Így mindkét esetben az $R(\vartheta_k)$ értékek táblázata leírja a konturvonal alakját. /IV.8. ábra/

IV.4.6 Fourier-együtthatók, mint alakjellemzők

A fentiekből következik, hogy a tárgy alakjára nézve igen jó jellemzők az $R(\vartheta_k)$ függvények Fourier-együtthatói. / $R(\vartheta)$ természetesen 2π -re periodikus függvény/. Mivel a konturvonalak felfoghatók nagyfrekvenciás zajoknak /a tényleges, esetleges zajok kis frekvenciájúak/, a Fourier-sor első együtthatói adják a legtöbb információt a tárgy alakjáról. Célszerű a Fourier-transzformáció bázisfüggvényeit használni. Legyen tehát P_c a koordinátarendszer középpontja, és

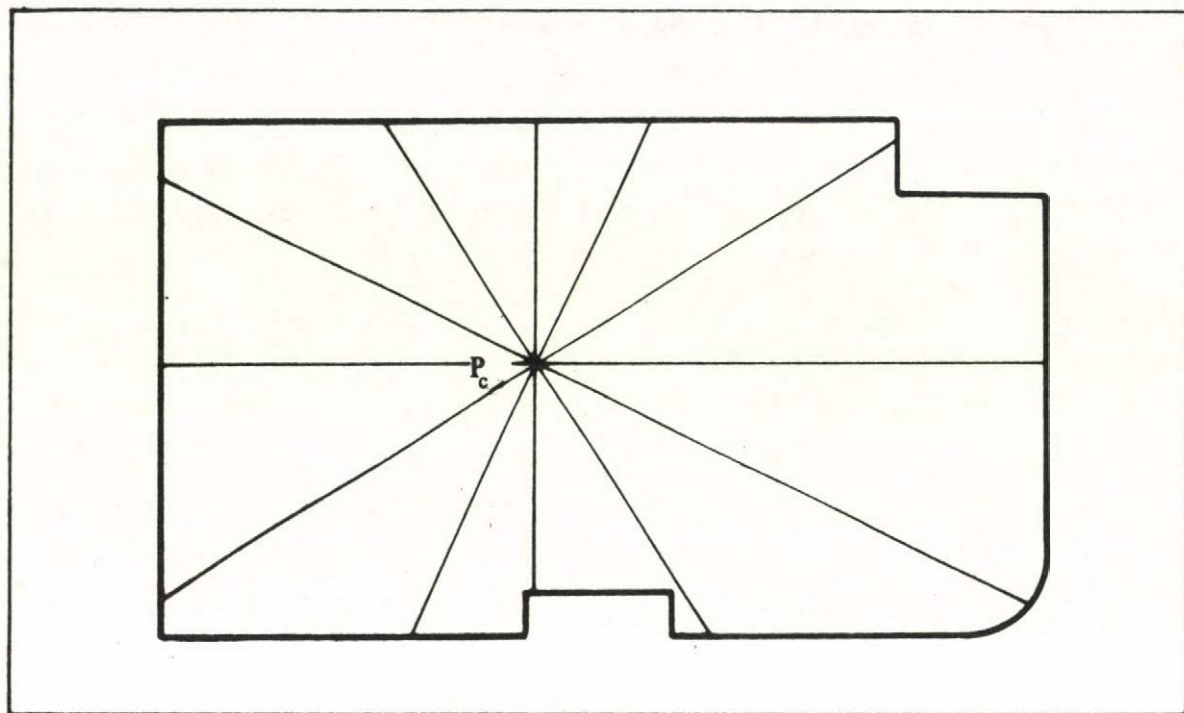
$$F_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} R(\vartheta) \cos \vartheta \, d\vartheta$$

$$F_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} R(\vartheta) \sin \vartheta \, d\vartheta$$

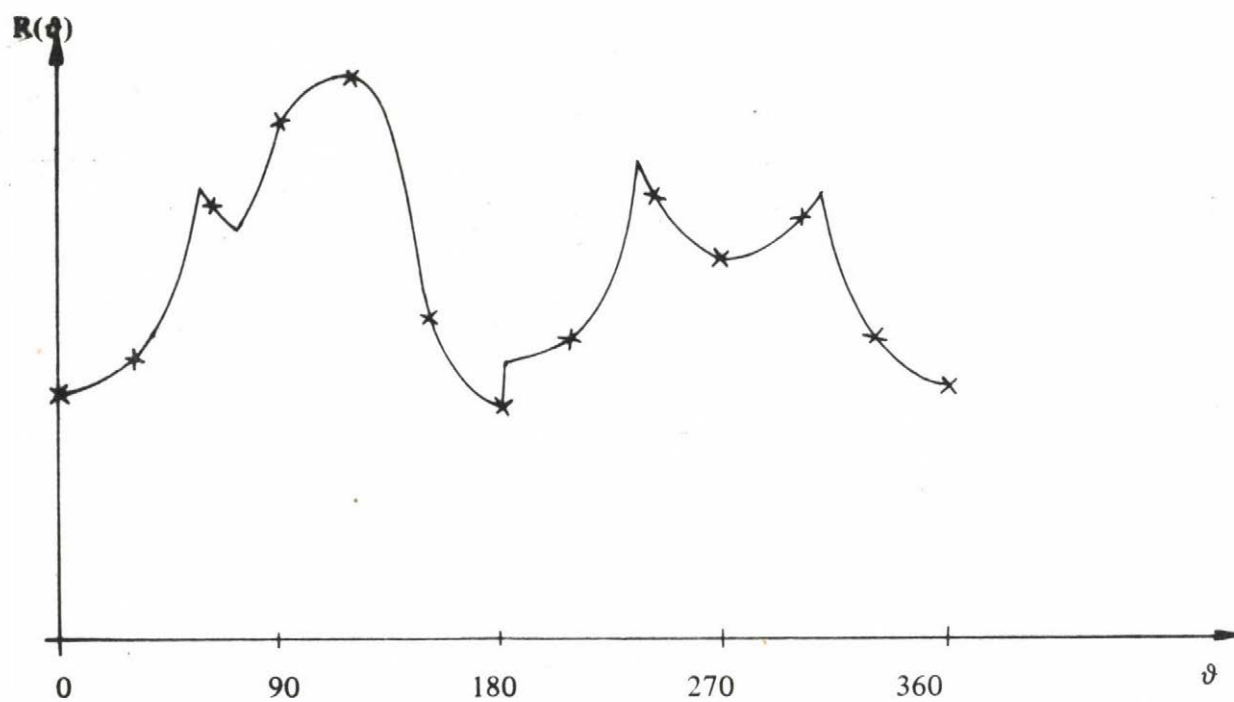
$$F_3 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} R(\vartheta) \cos 2\vartheta \, d\vartheta$$

$$F_4 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} R(\vartheta) \sin 2\vartheta \, d\vartheta$$

Az F_1, F_2, F_3, F_4 számok az $R(\vartheta_k)$ táblázatok alapján jól és gyorsan számolhatók.



IV. 7. ábra



IV. 8. ábra

IV.5 A modellek szelektálása a durva jellemzők alapján

A tárgyak modelljeiben számos más, később sorra kerülő adat mellett szerepelnek a tárgy durva jellemzői, azaz az S, L, H, P_c értékek és az $R(\vartheta)$ táblázat is. A durva jellemzők meghatározása után már csak azokkal a tárgyakkal foglalkozunk, amelyekre a képből kapott S', L', H' értékekre és a modellbeli S, L, H értékekre

$$S-S' < \delta_S, \quad L-L' < \delta_L, \quad H-H' < \delta_H$$

fennáll, ahol a δ számok előre meghatározott toleranciaküszöbök.

IV.6 Elforgatott tárgyak azonosítása

Az eddig ellenőrzött durva jellemzők mind függetlenek attól, hogy a tárgy milyen állásban van a kamera előtt, azaz tetszőlegesen el lehet forgatva a függőleges síkban anélkül, hogy ez az eddigi jellemzőket befolyásolná. Az $R(\vartheta)$ táblázatban azonban egy ilyen elforgatás éppen egy eltolást jelent. Ezért minden egyes, még szóba jövő t tárgy modelljében az $R_t(\vartheta)$ táblázatot toljuk el egy ϑ_t szöggel úgy, hogy a képből kapott $R(\vartheta)$ és az eltolított $R_t(\vartheta - \vartheta_t)$ táblázat abszolút minimumhelyei egybeesnek. Számítsuk ki az $R_t(\vartheta - \vartheta_t)$ függvényből az $F_1^t, F_2^t, F_3^t, F_4^t$ Fourier-együttható-értékeket, és ha ezek mind egy δ_f küszöbszámnál kevesebbel térnek el a képből kapott F_1 -értékektől, akkor azt mondhatjuk, hogy a tárgyat a modellben leírt állapothoz képest ϑ_t szöggel elforgatva látjuk. Több minimumhely esetén valamenyi elképzelhető ϑ_t értéket ki kell próbálni. Az is előfordulhat, hogy egy tárgyról nem tudjuk eldönteni, hogy ϑ_t^1 vagy ϑ_t^2 szöggel elforgatva látjuk. /Például előállhat ez az eset akkor, ha a külső kontur centrálisan szimmetrikus./ Ebben az esetben minden szóba jövő ϑ_t^k szöggel elvégezzük a további vizsgálatokat.

IV.7 Finom jellemzők

IV.7.1 A durva jellemzőkkel végzett vizsgálat eredménye

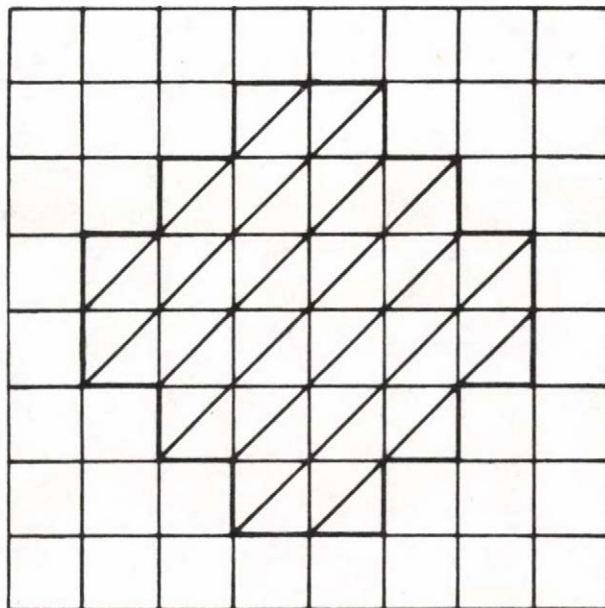
Ha az eddigi vizsgálatok révén egy kivételével az összes tárgyat sikerült kiszűrni, akkor a felismerés megtörtént. /Ez gyakori eset/. Ha mindegyik tárgy kiszűrődött, akkor a program hibát jelez. Ha több tárgy is fennmaradt a rostán, akkor ezek mindegyikéről tudjuk, hogy a P_c centroidjuk közül milyen θ_t szöggel vannak elforgatva a modellben leírt állapotukhoz képest, feltéve, hogy a kép azt a tárgyat ábrázolja.

IV.7.2 Speciális operátorok

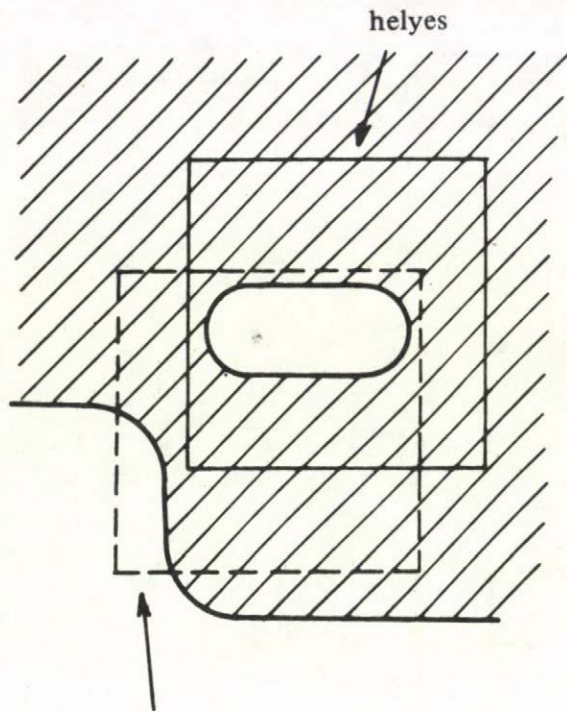
Ezek után a tárgyakat finom jellemzőik alapján ismerjük fel. A finom jellemzőket speciális operátorok keresik meg. A speciális operátorok a következők:

- a/ Nagy lyukat kereső operátor /NLK/. Ez az operátor alkalmas arra, hogy a kép egy előre specifikálandó területén előre megadott alakú lyukat megtaláljon.
- b/ Kis lyukat kereső operátor /KLK/. Ez az operátor azt ellenőrzi, hogy a kép egy adott pontja körül a szűrkeségi szintek különböznek-e a nagyobb környezet szűrkeségi szintjeitől. /Igy ez az operátor akár árnyékos, akár csillogó foltokat detektál./
- c/ Kiszögélés-kereső operátor /KSK/. Ez az operátor a kontur kisebb kidudorodásait keresi meg szintén egy előre megadandó ablakban.
- d/ Élkereső operátor /EK/. Ez az operátor azt vizsgálja meg, hogy egy előre adott ablakban található-e egy adott irányú egyenes vonal.
- e/ Sarokkereső operátor /SK/. Ez az operátor azt ellenőrzi, hogy egy adott ablakban a konturvonal törik-e. Itt konturvonalon már a tárgy belső konturvonalai értendők.

Lyukkeresésre alkalmas templát
(Nagy lyuk kereséséhez)

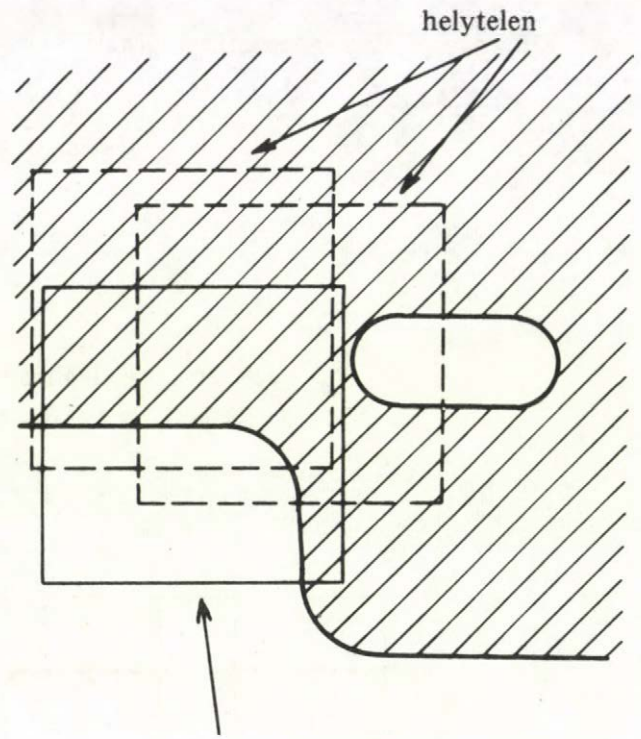


IV. 9. ábra



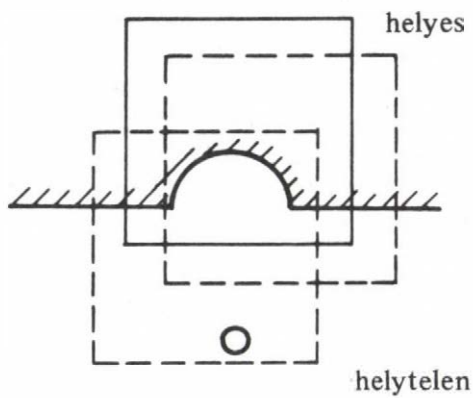
helytelen
NAGY LYUK KERESÉSE

IV. 10. ábra



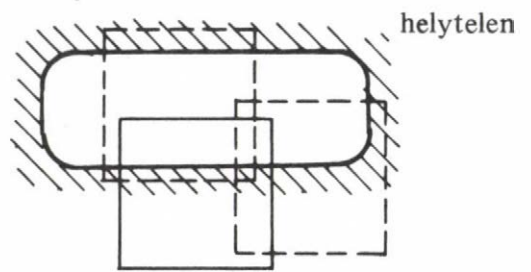
helyes
SAROK KERESÉSE

IV. 11. ábra



KISZÖGELÉS KERESÉSE

IV. 12. ábra



helyes
EGYENES ÉL KERESÉSE

IV. 13. ábra

IV.8 A speciális operátorok működése

IV.8.1 Nagy lyukat kereső operátor /IV.10. ábra/

A nagy lyukat kereső operátor /NLK/ az A ablakban adott alaku és nagyságu lyukat keres, a lyuk jellegzetessége, hogy sötétebb, mint a lyukat körülvevő tárgy felülete.

A lyukkeresést az u.n. "template matching" módszerrel végezzük. /4/ Az adott alaku lyukat elképzeljük egy, az A ablakban értelmezett $h(i,j)$ template (minta-) függvénynek. /IV.9. ábra/ A lyuk belsejébe eső (i,j) pontokra $h(i,j)=1$, egyébként $h(i,j)=0$. Létesítsünk egy $g(i,j)$ leképezést az A ablak pontjai és a kép A-nak megfelelő pontjai között. A g függvény a $P_C^t - P_C$ eltolásvektorból és a ϑ_t forgásszögből megkapható. Mármint a kép annál inkább hasonlít a mintára, minél kisebb az

$$E(i,j) = \left(\sum_{i,j \in A} (f(g(i,j)) - h(i,j))^2 \right)^{1/2}$$

mennyiség, ahol f az input képfüggvény. Ebből azt kapjuk, hogy $E(i,j)$ annál kisebb, minél nagyobb az

$$R(i,j) = \frac{\sum f(g(i,j)) \cdot h(i,j)}{\left(\sum_{i,j \in A} f(g(i,j))^2 \right)^{1/2}}$$

mennyiség. Ez az $R(i,j)$ mennyiség a Cauchy-Schwarz egyenlőtlenség segítségével jól normálható, így azt kapjuk, hogy az

$$N(i,j) = \frac{\sum_{i,j \in A} f(g(i,j)) \cdot h(i,j)}{\left(\sum_{i,j \in A} (f(g(i,j)))^2 \cdot \sum_{i,j \in A} (h(i,j))^2 \right)^{1/2}}$$

mennyiség 0 és 1 közé esik, és annál nagyobb, minél kisebb $E(i,j)$. $N(i,j)=1$ akkor és csak akkor áll fenn, ha a templat és a képnek a $g(A)$ -ba eső része egy konstans faktor erejéig megegyezik. Így az NLK operátor akkor ad pozitív eredményt ha

az $N(i,j)$ érték egy küszöbszám felett van, pl. ha $N(i,j) > 0,8$. Az $N(i,j)$ értéke a kép, a template és a g leképezés ismeretében egyszerűen és gyorsan kiszámítható.

IV.8.2 Kis lyukat kereső operátor

A kis lyukat kereső operátor /KLK/ azt ellenőrzi, hogy adott A ablakon belül az adott P pontban van-e lyuk a tárgyon. Itt lyukon nemcsak azt értjük, hogy a P pontban a háttér látszik, hanem azt is, ha a P pontban a tárgy csak árnyékos vagy csillog. A KLK operátor úgy működik, hogy egyrészt kiszámítja az A hátterén lévő pontokban a szürkeségi szintek átlagát, másrészt kiszámítja a P pont 3×3 -as környezetében a szürkeségi szintek átlagát. Ha a két átlag különbsége 1 fölött van, akkor a KLK operátor talál kis lyukat, ha a különbség kisebb, akkor nem talál.

IV.8.3 Kiszögellést kereső operátor /IV.12 ábra/

A kiszögelléseket kereső KSK operátor az NLK operátorhoz hasonlóan templát módszerrel működik. Két különböző templátot használunk aszerint, hogy a kontur kidudorodása homoru vagy domboru, a kiszögellés oldalán a templát 1-esekből ill. 0- kból áll, és a háttér oldalán pedig fordítva. /IV.14. és IV.15 ábra/ A KSK operátor a megfelelő /homoru vagy domboru/ templáttal ugyanúgy működik, mint a NLK operátor. Mivel azonban a kiszögellés kevésbé jellegzetes tulajdonság, mint a lyuk a konturban, viszont az ellentéte /az egyenes konturvonal/ jellegzetesebb, a döntési küszöb értékét célszerű alacsonyabban megállapítani, mint az NLK operátornál.

IV.8.4 Élkereső operátor /IV.13 ábra/

Az élkereső /EK/ operátor azt ellenőrzi, hogy a kép az A ablakban tekinthető-e egy α szögű egyenes képének. Az A ablak ebben az esetben négyzet alakú, így az eltolás és a θ_t szöggel való elforgatás révén az NLK operátornál tekintett $g(i,j)$ függvény helyett egyszerűen az A ablak K középpontját eltoljuk a $P_c^t - P_c$

vektorral, elforgatjuk a ϑ_k szöggel P_c körül, és az így kapott K' középponttal a képen felvett A' ablakban keressük meg az egyenest. Az egyenes detektálása a következő észrevételen alapszik: /5/ Legyenek f_1 és f_2 a IV.16/a. ill. IV.16/b. ábrán látható függvények, és legyen f_e a IV.17 ábrán látható függvény. Az f_e függvény az e egyenes fölött b , alatta pedig d értéket vesz fel. /Mindhárom függvény az A' ablakon van értelmezve./ Az f_e függvény megfelel egy idealizált α szögű élnek. Az él jelenlétének ellenőrzése az A' alakban a következő észrevételen alapul:

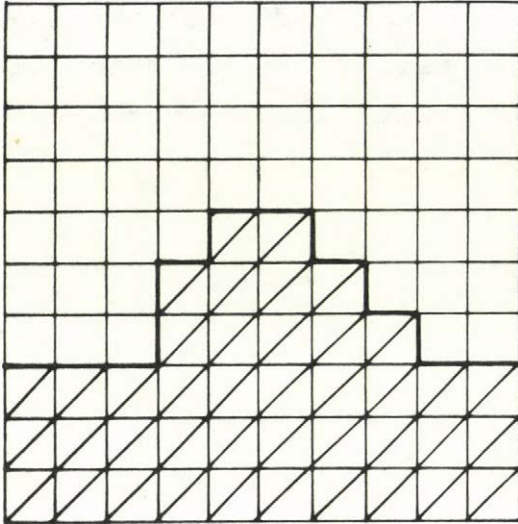
$$\frac{\iint_{\hat{A}} f_2 f_e dx dy}{\iint_{\hat{A}} f_1 f_e dx dy} = \operatorname{tg} \alpha$$

A két integrál a szürkeségi szintekből közvetlenül és gyorsan számítható. A fenti összefüggés érdekessége, hogy nem függ sem b -től, sem d -től, sem pedig az egyenes él tényleges helyétől A' -ban, hanem csakis az α szögtől. Így ha az integrálokból számított szög a keresett α szögtől egy küszöbszámnál /pl. 15° -nál/ kevesebbrel tér el, az EK operátor megtaláltnak nyilvánítja a keresett élet.

Még az integrálok kiszámítása előtt célszerű ellenőrizni, hogy a kép az A' ablakban nem túl homogén-e, mert ebben az esetben az irányszög szinte véletlenszerűen adódik, csak a képen lévő zajoktól függ. Ez az ellenőrzés úgy végezhető el a legegyszerűbben, hogy kiszámítjuk a képen az A' ablakban a IV.18. ábra szerinti T_1 , T_2 , T_3 és T_4 területeken a szürkeségi szintek összegét, és ha ezek közül a maximális és a minimális különbsége egy küszöbszám alatt van, akkor eleve nem detektálunk élet az A' ablakban. A T_1 , T_2 , T_3 , T_4 területeken a szürkeségi szintek összegét a két integrál kiszámításához amúgy is meg kell határozni.

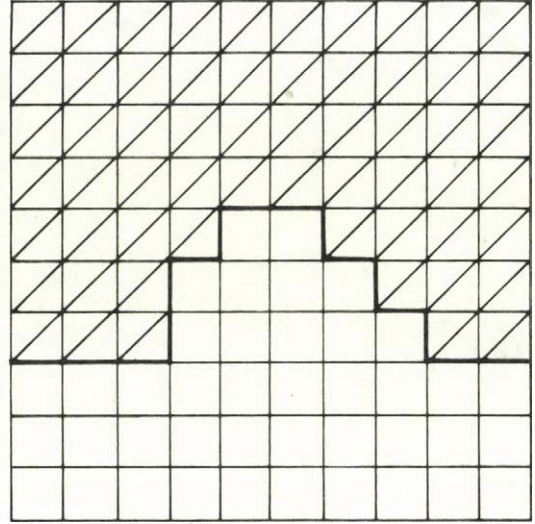
Természetesen, ha az input kép ϑ_t szöggel van elforgatva a modellbeli képhez képest, akkor az A' ablakban $\alpha - \vartheta_t$ szögű egye-

HOMORU TEMPLÁT

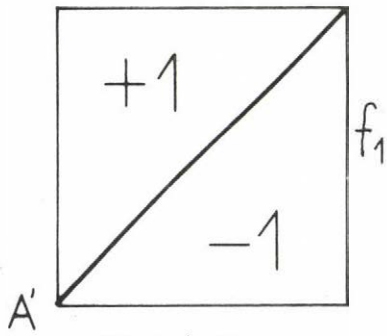


IV. 14. ábra

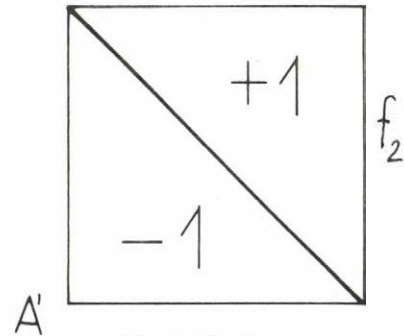
DOMBORU TEMPLÁT



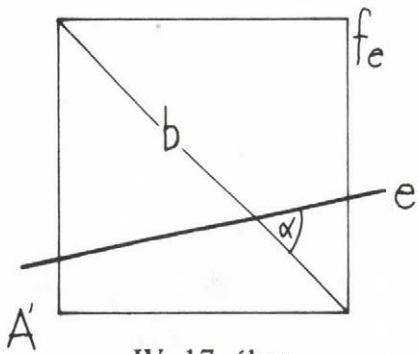
IV. 15. ábra



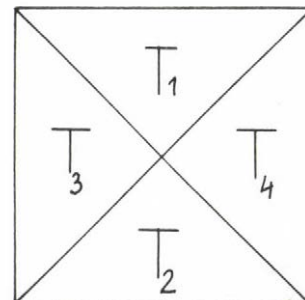
IV. 16/a ábra



IV. 16/b ábra



IV. 17. ábra



IV. 18. ábra

nest kell keresni.

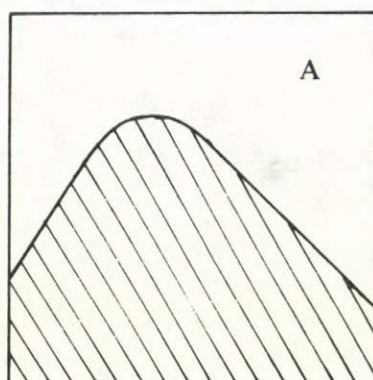
IV.8.5 Sarokkereső operátor /IV.11. ábra/

A sarokkereső operátor /SK/ azt ellenőrizni, hogy az adott A ablakban találhatók-e különböző irányu hosszabb konturvonalak. Ebből a szempontból természetesen egy lekerekített csucst is saroknak tekintünk, így pl. a IV.19 ábrán látható A ablak tartalmaz sarkot, definíciónk szerint. Sarok előfordulhat a tárgy külső és belső konturjain is. A modellbeli A ablaknak az input képpen megfelelő A' ablakot ugyanugy találjuk meg, mint az élkereső operátornál.

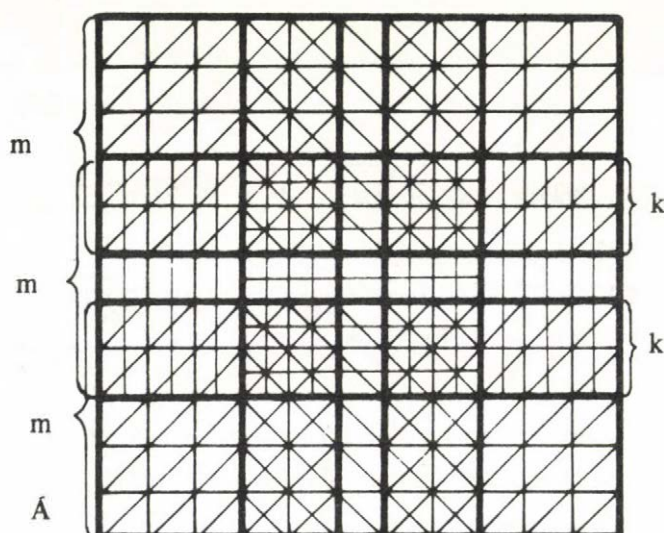
Az SK operátor úgy működik, hogy az A' ablakot lefedi egymást k pontnyira átfedő kisebb, $m \times m$ pontnyi négyzetekkel. Lehet pl. a 11×11 pontnyi ablak, $m=5$ és $k=3$ /IV.20. ábra/. Ezután az összes kis négyzetre alkalmazzuk az EK operátort úgy, hogy az eredményként azt adja vissza, hogy abban a négyzetben található-e él, ha igen, milyen irányszögű. /IV. 21. ábra./

Ezután, ha az A' ablakban sarok van, akkor a kapott éldarabok irányszögeinek a szórása nagy, ha a kontur az ablakban nem nagyon görbül, vagy nem is halad át kontur az ablakon, akkor a kapott irányszögek szórása kicsi. Ha ez a szórásérték egy előre adott küszöbszám fölött van, akkor az SK operátor jelzi , hogy talált sarkot.

Ha egy kis négyzet éppen magát a töréspontot /sarkot/ tartalmazza, akkor az EK talál ott élet, a sarkot két oldalán lévő vonalakhoz képest egy közbülső irányszöggel. Ezért használtuk az EK operátort kifejezetten bizonyos, adott szögű élek keresésére, így ugyanis az EK operátor ebben az esetben sem találna élet. A sorkkeresésnél viszont egy ilyen "tranzien" él a szórást nem csökkentheti. A sarokkereső algoritmusban a szórás fogalma nem világos, mivel az irányszög-értékek periodikusak modulo 2π . Ezért a szórás fogalmát irányszögekre úgy kell definiálni, hogy $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ irányszögek σ szórása legyen az a

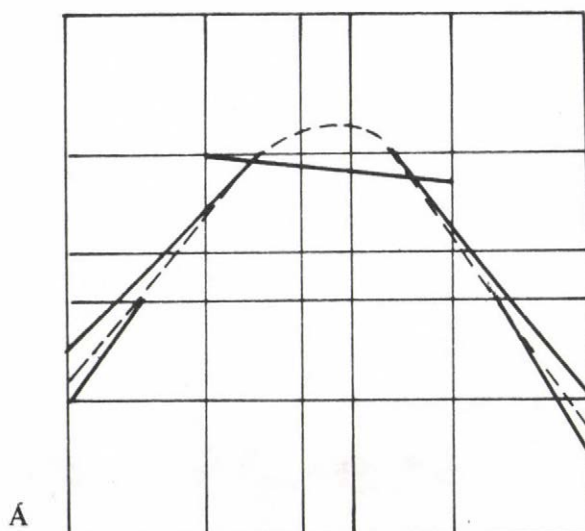


IV. 19. ábra



egy ablak lefedése
kis négyzetekkel

IV. 20. ábra



egyenesdarabok a kis
négyzetekben

IV. 21. ábra

szám, amelyre

$$\sigma^2 = \min_{\alpha} \frac{\sum_{i=1}^n (\alpha \dot{-} \alpha_i)^2}{n-1}$$

ahol $\dot{-}$ a modulo vett különbséget jelöli. Ismeretes, hogy a valószínűségi számegyenesen ez a definíció a szórás egy ekvivalens definíciója. /6/ Bebizonyítható, hogy n szórásérték esetén a σ szórásérték legfeljebb $n+1$ próbálkozással kiszámítható, így a definícióban szereplő minimum kiszámítása nem vesz sok időt igénybe. /Esetünkben legfeljebb $n=9$ lehet/.

V. A TÁRGYAK FELISMERÉSE

V.1 A tárgymodellek szerepe a felismerésben

A speciális operátorok nem alkalmasak arra, hogy vaktában keressünk velük finom jellemzőket a képben, mert az rendkívül sok időt venne igénybe. Ezért használatukhoz mindig célszerű előre megadni, hogy hol érdemes finom jellemzőket keresni a speciális operátorokkal. Ez viszont el is érhető, ha a modell tartalmazza a tárgy összes finom jellemzőit, hiszen a P_c és a ϑ_t értékek alapján minden finom jellemzőről meghatározható, hogy azt a kép melyik részén kell keresni.

A fentiek figyelembevételével tehát a további felismerést úgy kell szervezni, hogy a tárgymodellek vezéreljék a finom jellemzők keresését.

A tárgymodellek tartalmazzák a tárgy összes finom jellemzőjét és azokat az ablakokat is, amelyekben az egyes finom jellemzőket keresni kell, ha a tárgy éppen a modellben leirt állásban látszik. Ezenkívül a finom jellemzőkhöz hozzá van rendelve egy megbízhatósági érték, ami kifejezi, hogy mennyire vehetjük bizonyosnak azt, hogy a megfelelő speciális operátor valóban megtalálja a szóban forgó finom jellemzőt, feltéve, hogy az a képen valóban jelen van. Ez a megbízhatósági érték egy 1 és 5 közötti egész szám lehet.

V.2 Tárgyfelismerő algoritmus

A továbbiakban leírjuk az általunk kidolgozott algoritmust, amelynek segítségével várhatóan a legkevesebb próbálkozással lehet azonosítani a képen látható tárgyat.

V.2.1 A számítás menete

Tegyük fel, hogy a durva jellemzők alapján végrehajtott vizsgálatok után a t_1, t_2, \dots, t_n tárgyak nem estek ki a rostán, azaz tudjuk, hogy a kép ezen tárgyak valamelyikét ábrázolja, mégpedig a modellben leírt állapotukhoz képest centroidjaik körül ϑ_{t_i} szöggel elforgatva. Ezenkívül minden tárgyhoz hozzárendelünk egy E_{t_i} hibaértéket; ez legyen kezdetben minden t_i tárgyra 0.

Most tekintsük a t_1 tárgynak azt a finom jellemzőjét, amelynek az A_f megbízhatósági száma a legnagyobb. Ez a modellben az A ablakban jelenti egy finom jellemző jelenlétét. Ezt az A ablakot toljuk el a $P_c - P_c^{t_i}$ vektorral $/P_c$ a képen látható tárgy centroidja/, és forgassuk el a ϑ_{t_i} szöggel. A képen így specifikált ablakban alkalmazzuk a tekintett finom jellemzőt megkereső speciális operátort. Ha az operátor megtalálja a szóban forgó finom jellemzőt, akkor mindazon t_i tárgyakra, amelyekre ez a finom jellemző nem szerepel, az E_{t_i} számot emeljük meg $A_f/2$ -vel. Ha az operátor nem találta meg a keresett finom jellemzőt, akkor az E_{t_1} számot emeljük A_f -fel.

Ezután végezzük el ugyanezt az eljárást annak a t_i tárgynak az eddig még nem ellenőrzött legmegbízhatóbb finom jellemzőjével, amelynek az E_{t_i} értéke a legkisebb. Ha egy t tárgynál az E_t érték egy előre adott E küszöbszámot meghalad, akkor azt a tárgyat kizárjuk, azaz úgy döntünk, hogy azt a t tárgyat nem ábrázolhatja a kép. Ezt az eljárást folytassuk mindaddig, amíg vagy egyetlenegy tárgyunk marad, vagy minden fellelhető finom jellemzőt megvizsgáltunk.

V.2.2 Az algoritmus tulajdonságai

Az algoritmus jellegzetessége, hogy mindig azt a tárgyat próbálja tovább valószínűsíteni, amelynek a jelenléte a képen az adott pillanatban a legvalószínűbb. Ebből következik, hogy ha

végül egy kivételével valamennyi tárgyat sikerül kiszűrni, akkor azt mondhatjuk, hogy a felismerés megtörtént. Ezzel magyarázható, hogy egy, a képen jelenlevő jellemző hiányát a modellből csak feleakkora súllyal vettük figyelembe, mint egy modellbeli jellemző hiányát a képből.

Ha az összes modellbeli összes finom jellemzők megvizsgálása után is több tárgy marad felszínen, akkor úgy döntünk, hogy az a t tárgy van jelen a képen, amelyre E_t minimális. Ez az utóbbi eset csak akkor fordulhat elő, ha a képen látható tárgy és valamelyik másik tárgy között nagyon kicsi a különbség. /Például egyetlenegy lyuk/.

A robotos festési technológiából következik azonban, hogy valószínűleg az ilyen alkatrészek festését azonos program fogja vezérelni ezért ezek megkülönböztetésére nem is lesz szükség.

V.2.3 Példa lemez-szerű tárgyak felismerésére

A felismerés menetét jól követhetjük: a következő példán. Legyen az input kép/a felfüggesztő elemek leválasztása után/ az V.1. ábrán látható példa. Az V.2, V.3 és V.4 ábra mutassa azoknak a tárgyaknak a modelljeit, amelyek a durva jellemzők vizsgálata után még szóba jöhetnek. /Az ábrán már minden modellt a megfelelő V_t szöggel elforgatva mutatunk, így állásuk azonos a tárgy állásával/. Először a t_1 tárgy f_1 jellemzőjét keressük a képben, tehát az V.5 ábrán látható A_1 ablakban egy kerek lyukat. Tegyük fel, hogy az f_1 jellemző megbízhatósági értéke 5. Az f_1 jellemzőt nem találjuk meg, ezért ezután $E_{t_1} = 5$ lesz. Ezután, mivel még $E_{t_2} = 0$, a t_2 modell szerint az A_2 ablakban keresünk egy vízszintes egyenest, aminek megbízhatósága pl. 4. Tegyük fel, hogy sikerült találni. Ekkor az E_{t_2} és E_{t_3} értékek változatlanok maradnak, mert itt a modellben szerepel a megtalált jellemző. E_{t_1} viszont 2-vel nő, $E_{t_1} = 7$ lesz ezután. Most az A_3 ablakban keresünk 3-as megbízhatóságu kis lyukat. Nem si-

kerül találni, így $E_{t_2} = 3$ lett. Most a t_3 modell szerint /mivel erre még $E_{t_3} = 0$, keresünk az A_4 ablakban 4-es megbízhatóságu kerek lyukat. Sikerül találni, így E_{t_2} és E_{t_3} nem változik, de E_{t_1} nő 2-vel. Ha pl. $E=8$ volt, akkor mivel E_{t_1} immár 9, a t_1 tárgyat ezzel kizártuk, és nem is volt szükség a kiszögellés kereső hívására a kép felső részén. Most ismét a t_3 modell alapján, mivel még $E_{t_3} = 0$, így kisebb, mint E_{t_1} , az A_5 ablakban keresünk egy kis lyukat, 3-as megbízhatósággal. Nem találunk, így $E_{t_3} = 3$ lett. Ezután már az E_{t_2} modell alapján keresünk, és pl. az A_6 ablakban keresendő sarokkal, az A_7 ablakban keresendő egyenessel és az A_8 ablakban keresendő sarokkal a t_3 tárgy is kizáródik, ezzel tehát az input képről felismerjük a t_2 tárgyat. Ebben a példában csak azokat a jellemzőket említettük, amelyek különbséget tesznek a t_1 , t_2 és t_3 tárgy között. Láthatjuk, hogy egy-egy kisebb hiba az input képben nem akadályozza meg a tárgy felismerését.

V.3 A felismerő eljárás időszükséglete

V.3.1 Általános megjegyzések

Az eddigiekben leírt rendszer időszükséglete a jelenlegi gépek és mikroprocesszorok kb. 1 μ s-os ciklusidejét figyelembe véve körülbelül éppen a real-time üzemmód lehetőségeinek határán van. Mielőtt azonban ennek jelentőségét és a felismerés gyorsításának lehetőségeit tárgyalnánk, elemezzük ki részletesen, hogy melyik funkcióval mennyi időt tölt el a rendszer. A most ismertetendő számok nagyrészt becsült adatok, de kb. 20-30 % hibával pontosnak tekinthetők. /És általában felfelé kerekített értékek./ Induljunk ki egy 128 x 128 képpontnyi felbontású TV-képből, amelyet mátrixos formátumban sorfolytonosan tárolunk a memóriában. A képfelbontás növelésével az algoritmusok időszükséglete arányosan növekedne ugyan, viszont részben a szakirodalom, részben saját tapasztalataink is azt mutatják, hogy az adott feladat megoldásához ilyen nagyságrendű képfelbontás elegendő.

V.3.2 A képfeldolgozás egyes lépéseinek időigénye

Az 1. lépés végrehajtási ideje nem számottevő /IV.2. pont/, legfeljebb néhány másodperc. A 2. lépésben Chow konturpontokat kereső algoritmusának egyszeri végrehajtási ideje egy 11 x 11-es ablakban körülbelül 16-20 msec. Egy konturvonal Freeman-kódjainak összeállítása kb. 3-4 sec időt vesz igénybe.

A felfüggesztő elemek leválasztása a konturról 0,1 sec-nél kevesebb időt vesz igénybe, az S,L,H durva jellemzők meghatározása pedig még kevesebbet.

A P_C centroid meghatározása valamivel nehezkesebb, hiszen ehhez a képmátrix minden eleméről el kell dönteni, hogy a külső konturon belül van-e vagy sem, holott a külső konturt csak a Freeman-féle lánckódok írják le. Így a P_C meghatározása 0,2-0,3 sec-t igényel.

Az $R(\theta)$ táblázat kiszámolásához a konturvonal minden pontjának P_C -től való távolságát és irányát ki kell számítani, így az $R(\theta)$ táblázat előállításához 0,8-1 sec kell. Ezután az F_i értékek kiszámítása nem számottevő idő. A tárgyak többségének az S,L,H durva jellemzők alapján való kiszűrése nem igényel említésre méltó időt. Ha ezek után csak legfeljebb néhány tiz tárgy jöhet még szóba, akkor az F_i értékek alapján való szűrés néhány tizedmásodperc alatt lefut. Szemben az eddigiekkel, ez a becslés már erősen függ a konkrét tárgytól.

Tegyük fel, hogy a durva jellemzők alapján való szűrés után legfeljebb tiz tárgy marad /majdnem mindig kevesebb lesz a ténylegesen ki nem szűrt tárgyak száma/, minden tárgyon 30 finom jellemzővel.

A speciális operátorok egyszerü végrehajtásának időszükségletei az V.6. ábráról leolvashatók. Az ottani időkbe már a képbeli ablak meghatározását is beleszámítottuk.

A SPECIÁLIS OPERÁTOROK JELLEMZŐI ÉS JAVASOLT PARAMÉTEREI

SPECIÁLIS OPERÁTOR	EGYSZERI VÉGRE- HAJTÁSI IDŐ ÁTL.	MEGBIZHATÓSÁG		ABLAKMÉRET	
		MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
NLK	30 msec	3	5	8 x 8	20 x 20
KLK	1 msec	1	3	7 x 7	9 x 9
KSK	20 msec	2	4	8 x 8	16 x 16
EK	2 msec	2	4	5 x 5	10 x 10
SK	8 msec	2	3	11 x 11	15 x 15

V.6 ábra

A 10 tárgy darabonként 30 finom jellemzőjének várhatóan az ötödét sem kell megvizsgálni, hiszen az algoritmus olyan, hogy ha egyszer jó nyomra jutott, akkor fölösleges jellemzőket már nem vizsgál meg. Mivel sok tárgy már néhány jellemző alapján is kizárható, a finom felismerés is lefut néhány másodpercen belül, sőt a legtöbbször a másodperc törtésze alatt.

Összesen tehát egy tárgy felismerése átlagosan 5-6, maximálisan kb. 10 másodperc alatt történik meg a leirt rendszer segítségével. A kapott, átlagosan 5-6 másodperces felismerési idő megfelelő ahhoz, hogy a felismerő rendszer a szállítószalag mellett real-time módon üzemelhessen. Ezért érdemes megvizsgálni a felismerés gyorsításának lehetőségeit.

V.3.3 Gyors képprocesszáló algoritmusok

A felismerés gyorsításának egyik lehetséges módja lenne a képfeldolgozó algoritmusok gyorsabb /de kevésbé megbízható/ algoritmusokkal való helyettesítése. Ez az út azonban csak igen szűk határok között járható, mert az algoritmusok durvítása nagymértékben ronthatja a felismerés biztonságát. Így például a konturkövető algoritmus végezhető kisebb ablakokkal is, pl. az előbb kiszámított 11 x 11-es helyett akár 7 x 7-es ablakon is, ami a kontur követésének idejét 1-1,5 sec-ra csökkenti, viszont sokkal érzékenyebb az inputkép zajaira. Az optimális /még eléggé megbízható, de már eléggé gyors felismerést biztosító/ ablakméret meghatározásához a kísérleti adatok adhatnak bázist. A 11 x 11-es ablakméret azonban mindenképpen eléggé megbízható konturt ad.

Hasonló a helyzet az $R(\vartheta)$ táblázatokkal is. Lehet ugyan gyorsítani az $R(\vartheta)$ táblázatok összehasonlítását azzal, hogy a mintavételezést ritkítjuk /pl. nem 3^o-onként, hanem 4 vagy 5^o-onként vesszük az $R(\vartheta)$ táblázat elemeit/, de az időnyereség viszonylag kevés, /0,3-0,5 sec/ és a felismerés biztonsága lényegesen romolhat.

V.3.4 A felismerési idő csökkentése

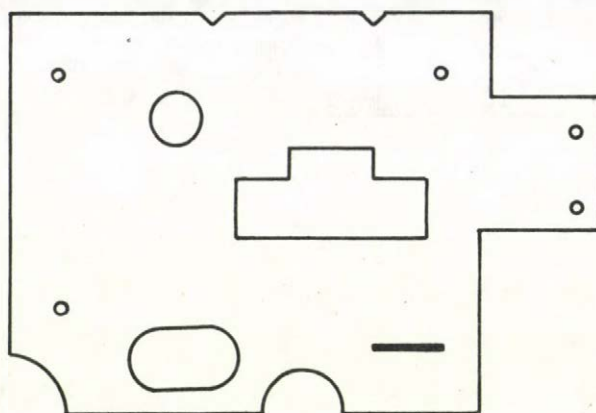
Lényegesen nagyobb nyereség érhető el a felismerés várható idejében /miközben a felismerés biztonsága egyáltalán nem romlik/ a következő észrevétel alapján: nagy a valószínűsége annak, hogy a felismerendő tárgy azonos az előzőleg látott tárggyal. Feltételezzük ugyanis, hogy a tárgyak a szállítószalagon nem teljesen véletlenszerűen érkeznek a kamera /majd a robot/ elé, hanem rövidebb-hosszabb szériákban. Már hármas-négyes szériák is igen nagy gyorsítási lehetőséget biztosítanak a felismerésben.

Először mindig vizsgáljuk meg azt, hogy a felismerendő kép különbözik-e az előzőleg felismert képtől. A következőkben leírunk egy algoritmust, aminek segítségével ez a vizsgálat gyorsan /kb. 1 másodperc alatt/ végrehajtható.

V.3.5 Az egymást követő tárgyak összehasonlítása

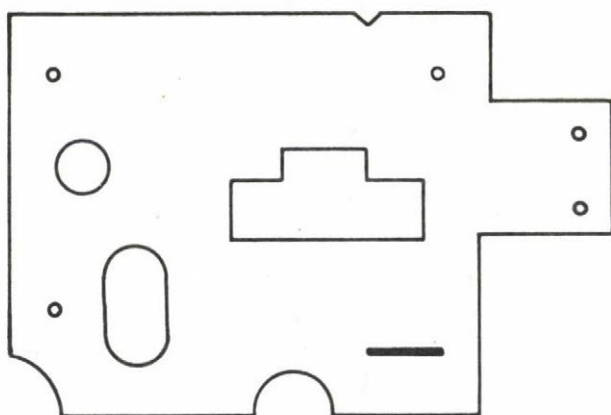
Az összehasonlító eljárás első lépéseként a felfüggesztő elemeket a képről eltüntetjük /más szóval beleolvasztjuk a háttérbe/. Ezt nem a Freeman-féle lánckódok segítségével végezzük ezuttal, hiszen algoritmusunk fő erénye éppen az, hogy a kontur meghatározását nem kell végrehajtani, ami nagy időnyereség. Ezért úgy oldjuk meg, hogy a kép felső oldalától induló függőleges csikokat eltüntetjük mindaddig, amíg a csik ki nem szélesedik /ott ugyanis már a tárgy van/. Ezután kiszámítjuk a kép P_s súlypontját az összes képpont figyelembe vételével /ez nem azonos a P_c centroiddal, hiszen azt az összes külső konturon belüli pont alapján számoltuk/, és eltoljuk a képet úgy, hogy P_s az előző kép P'_s súlypontjába kerüljön. Ezután a már leírt templát módszerrel /V.2 pont/ összehasonlítjuk a két képet. Ha a két kép azonosnak mondható, akkor az új képben is megkeressük az előző tárgy finom jellemzőit. Ha ez is sikerrel jár /azaz a hibapontok összege nem haladja meg az E küszöbszámot/, akkor a felismerés megtörtént.

INPUT KÉP



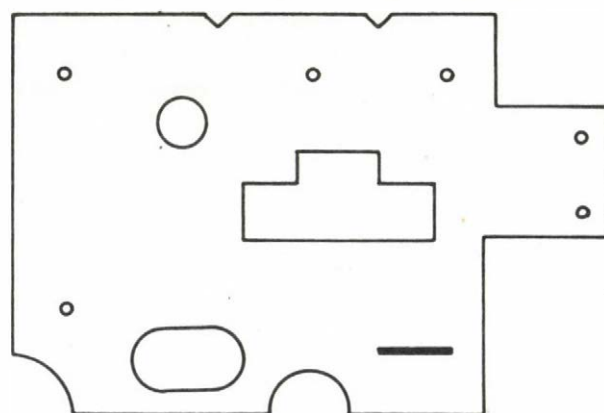
V. 1. ábra

T1 modell



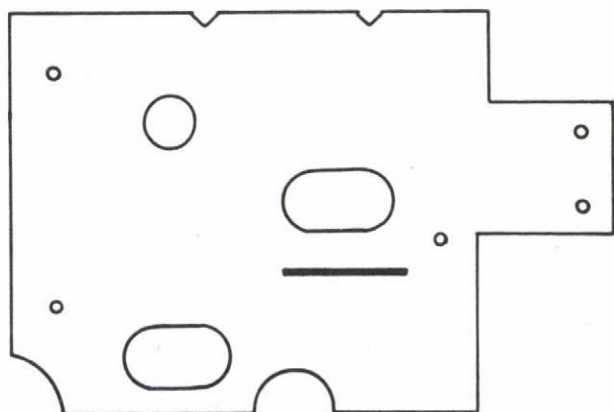
V. 2. ábra

T2 modell



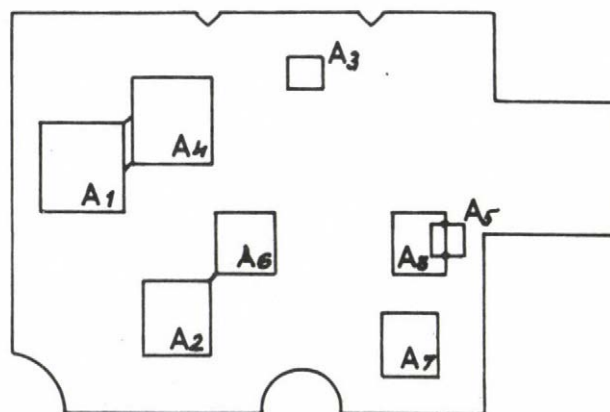
V. 3. ábra

T3 modell



V. 4. ábra

KERESÉS



V. 5. ábra

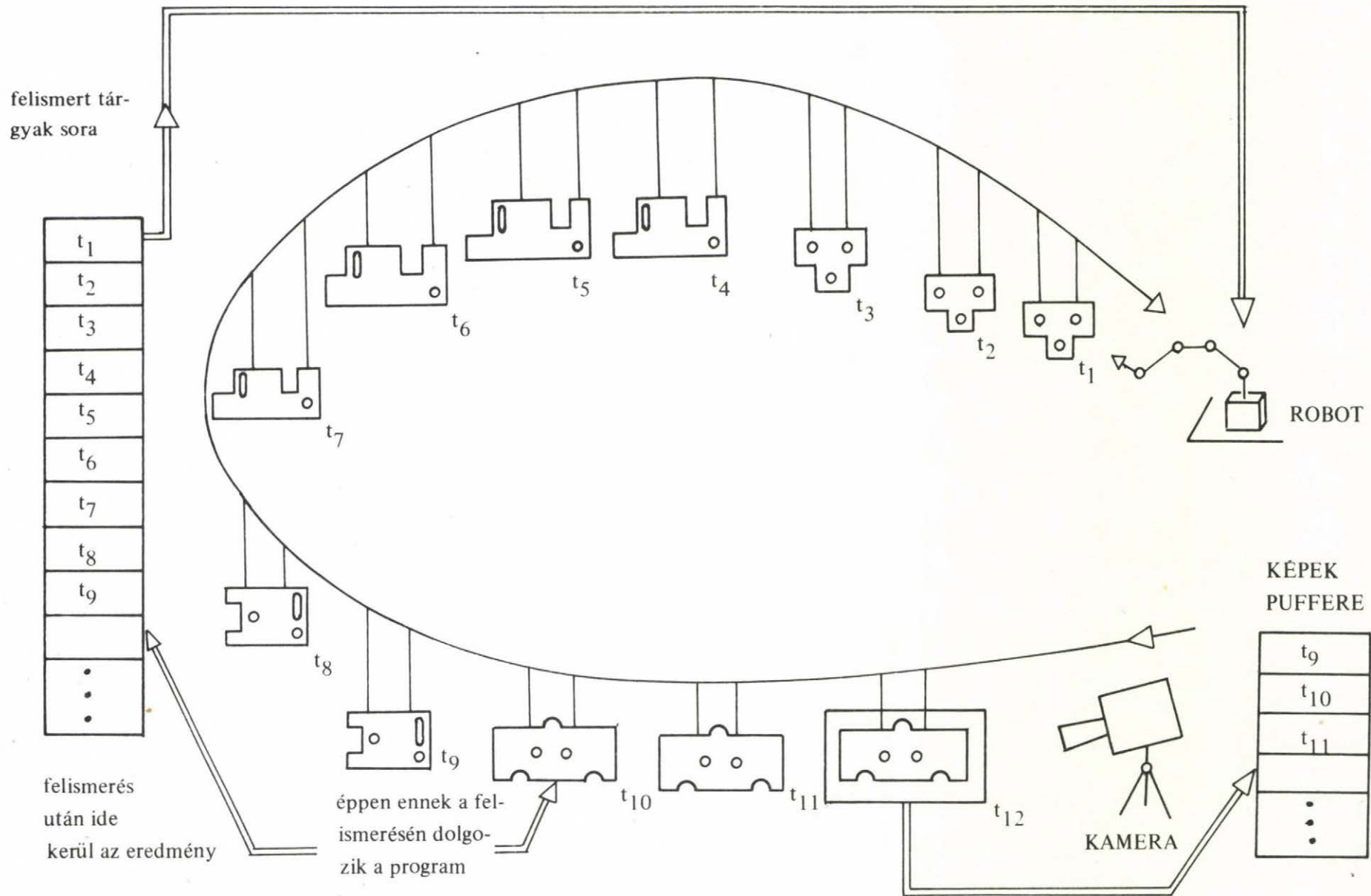
Ez az algoritmus pl. 30 finom jellemző esetén is kb. 1 másodperc alatt lefut, ebből a templát módszerrel végzett összehasonlítás 0,1 sec-nál kevesebb időt vesz igénybe. Siker esetén tehát 4-5 másodpercet nyerünk, és a balsiker kockázata annyi, hogy legfeljebb 1, de inkább 0,1 másodperccel nő a felismerés ideje.

V.3.6 A felismerés időszükséglete sorozatban érkező azonos tárgyak esetén - a képek pufferelése

A felismerés várható ideje ezzel lényegesen csökkent, pl. 3-4-es szériák esetén, ha az azonosság megállapításának valószínűsége 70%, feltéve, hogy a kép azonos az előzővel, a felismerés várható ideje 2-3 másodperc. /Hosszabb szériák esetén még kevesebb/. Ez már alkalmas real-time üzemmódra, de a felismerési idő szórása nagyon nagy. Így a rendszer csak úgy működhet, ha a felismerő program "előre dolgozik", azaz a kamera és a robot között a szalagon még sok tárgy fut, aminek egy /változó számu/ részét a program már felismerte, az ezek után következőket pedig még nem. Ennek általunk ajánlott szervezését mutatja be az V.7 ábra. A képek puffere mindig tartalmazza azt a képet, aminek a felismerésén éppen gondolkodik a program, ezenkívül az előző képet, /összehasonlítás céljából/ és a korábban érkezett képeket. Így általában csak 2-3 képet tartalmaz a puffere, de egy-egy különösen nehéz felismerés alatt ideiglenesen felduzzadhat. Amikor azonban a felismerés gyorsabban megtörténik, mint amilyen gyakran a tárgyak érkeznek, akkor ez a restancia újra lepad. Minden alkalommal, amikor a robot egy tárggyal befejezte a munkát, a felismert tárgyak sora eggyel előre tolódik.

V.4 Hibakezelés

Hibajelzést okozhat az, ha a program egy tárgyat nem tud felismerni, vagy az, ha a felismert tárgyak sora kiürül. Az első eset háromféleképpen állhat elő:



V. 7. ábra

V.4.1 Felismerhetetlen tárgyak

a/ ha a tárgy kilóg a képből

Az előzetesen rendelkezésre álló dokumentáció szerint a felismerendő lemez-alkatrészek méretei meglehetősen tág határok között mozognak. Ezért elképzelhető, hogy a látómezőbe csupán a tárgy egy része fér. Ilyenkor célszerű megkísérelni, hogy az egész tárgyat a látható részből azonosítsuk. Ezzel a kérdéssel azonban csak a feladat részletes specifikálása után érdemes foglalkozni.

b/ ha a tárgy hibás

A felismerő rendszer természetesen érzékeny a tárgy felületén észlelhető hibákra. Ilyen hiba lehet:

- becsillogás: a környezet és a megvilágítás megfelelő megválasztásával nagy valószínűséggel elkerülhető.
- szennyeződés: abban az esetben akadályozza a felismerést, ha beleesik valamelyik finom jellemzőhöz /kis vagy nagy lyukhoz/ rendelt ablakba és a finom jellemzők valamelyikével összetéveszthető.
- törés, behajlás: a külső kontúr egyes durva jellemzőire lehet befolyással.

c/ ha az input kép rossz minőségű

Rossz képminőség származhat a kamera illetve a megvilágítás nem megfelelő beállításából, illetve a képprocesszáló hardware-re ható külső /elektromágneses, hő, stb./ zavaroktól.

A fenti esetekben a rendszer úgy tekinti, mintha nem érkezett volna tárgy, ezt a memóriában speciális jel segítségével kódoljuk, s a festőrobotot a megfelelő lemez beérkeztekor nem indítjuk.

V.4.2 Időzavar

Az V.3 pontban leírtak értelmében a felismerő rendszer "előre dolgozik", s a már felismert tárgyakra vonatkozó, s a robotvezérlésnek átadandó információt egy változó méretű pufferben

tárolja. Amikor egy lemez festése befejeződött, a robotirányítás a puffer soron következő elemének kiolvasása révén választja ki a következő festőprogramot. Ha ez a puffer, vagyis a már felismert tárgyak sora kiürül, akkor a festőrobot és a kamera között csupa fel nem ismert tárgy helyezkedik el. Ilyenkor a szállítószalagot meg kell állítani, s megvárni a soron következő alkatrész azonosítását.

A hibajelenség egyik oka lehet a felismerő rendszer meghibásodása, ilyenkor a rendszer leállítása és emberi beavatkozás válik szükségessé. Az ilyen esetekben szükséges tevékenységet a rendszer konkrét megvalósításakor lehet megszervezni. Ugyancsak ilyen jellegű hiba lép fel akkor, ha egymás után sok különböző, az alakfelismerő rendszer számára nehezen azonosítható tárgy érkezett. Ennek valószínűségét csökkenti azonban az, hogy általában egy-egy lemezfajtából egynél több érkezik egy-egy sorozatban.

VI. TÁRGYMODELLEK ELŐÁLLÍTÁSA - TANÍTÁS

A felismerő program számára előzetesen le kell írni valamennyi felismerendő tárgyat: a felismerés lényegében az input képnek véges számu, a priori ismert tárgymodell valamelyikéhez való hozzárendelést jelenti. A tanítás tehát nem más, mint a tárgymodellek készletének létrehozása. A modell-halmaz legfontosabb tulajdonsága, hogy elemei a IV.4 és IV.8 pontokban ismertetett jellemzők szempontjából megkülönböztethetők.

VI.1 A modellezés eszközei

A tárgymodellezés, mint tevékenység, s maga a modellezéshez szükséges eszközök is fizikailag elkülönülhetnek a felismerő rendszertől. A szükséges számítási kapacitást egy általános használatu, lyukszalag és diszk perifériákkal ellátott számítógép biztosíthatja. A modellező SW kezelését megkönnyíti, ha egy konzol-display is tartozik a konfigurációhoz /a különböző operátori utasításokat mindig egy utasításkészletből való választással lehet kijelölni/, de konzol-írógéppel is megszervezhető a vezérlés. Az egyetlen, feltétlenül szükséges, és a szokásostól eltérő periféria a grafikus display. A grafikus display biztosítja input kép és az operátor által közölt geometriai információk megjelenítését, megkönnyíti az ilyen információk közlését a számítógéppel, lehetővé teszi a tanítás eredményének ellenőrzését. Szükséges, hogy a grafikus display geometriai elemeknek a képernyőn történő kijelölésére alkalmas mozgatható fényponttal /cursor/ vagy fényceruzával rendelkezzen. /ld.

VIII. fejezet/

VI.2 A tanítás elve

A modellező rendszer felhasználja a felismerő program egyes moduljait. Bemenete a tanítandó tárgy TV-képe, kimenete pedig a megtanított tárgymodell. Az MTA-SzTAKI-ban korábban kifejlesztett rendszerben az ipari tárgyak modellezése a tárgyak TV-ké-

peitől függetlenül történt. Az ott alkalmazott megoldásban az operátor egy vezérlőprogram felügyelete alatt egy grafikus SW segítségével készítette el az egyes tárgyak háromdimenziós leírását /modelljét/ - ez tette lehetővé a tárgyak strukturális összehasonlítás révén történő felismerését tetszőleges nézetből.

A festőrobotot vezérlő alakfelismerő rendszer esetében a probléma alapvetően kétdimenziós. A felismerendő tárgyak lemez-szerűek, a kamera mindig szemből látja őket, a tárgyakat elsősorban méreteik, külső konturjaik és a konturon belül elhelyezkedő kivágások, lyukak, stb. jellemzik. Ezért elegendő kétdimenziós modell-leírások készítése, ehhez pedig felhasználhatók a tárgyak valódi TV képei, és mint látni fogjuk, a tanító tevékenység ellenőrzésére magát a felismerő rendszert használhatjuk.

VI.3 A tanítás menete

A tanító rendszer először is eltávolítja a képből a felfüggesztő elemeket /IV.3 pont/, majd meghatározza az input kép durva jellemzőit: az S, L, H értékeket és az R(9) táblázatot. Ezeket eltárolja a készítendő modell-leírásba. Ezután a kezelő személy specifikálja a kép finom jellemzőit. Ez a következőképpen történik:

VI.3.1 Finom jellemzők megadása

Először az operátor jelzi, hogy következőnek milyen típusu finom jellemzőt ad meg /ezt pl. egy menüből választja ki az alfa-numerikus display-en/.

- a/ Ha a specifikálandó finom jellemző nagy lyuk, akkor a display-en az input képbe berajzolja azt az ablakot, amelyben a nagy lyuk keresendő, és magát a lyukat cursor segítségével körülrajzolja /IV.10 ábra/.
- b/ Kis lyuk esetén szintén berajzolja a képbe az ablakot, amelyben a kis lyuk keresendő, és /a cursor mozgatásával/ kijelöli annak középpontját.

- c/ Kiszögellés esetén ugyancsak megadja azt az ablakot, amelyben az illető finom jellemző található, és körülrajzolja az ablakban a kidudorodó konturdarabot. Vigyázni kell arra, hogy az ablak szélén a konturvonal egyenes legyen. Ezután azt is meg kell adni, hogy a kiszögellés domboru-e vagy homoru.
- d/ Az élek specifikálásánál szintén be kell rajzolni az élet tartalmazó ablakot, és ezenkívül az él két végpontját az ablakban. Ezzel a keresendő él irányát is meghatároztuk.
- e/ A sarok specifikálásánál csak a sarkat tartalmazó ablakot kell megadni.

Az ablakok méretére az V.6. ábrán látható táblázatból olvasható ki alsó és felső korlát. Az ablakokat úgy kell meghatározni, hogy azok csak az éppen specifikálni kívánt jellemzőt tartalmazzák, egyéb zavaró részleteket ne. Néhány példát mutat a IV.10 - IV.13. ábra.

Miután a tanító specifikált egy finom jellemzőt, a program megjegyzi a finom jellemző adatait, továbbá nagy lyuk és kiszögellés esetén elkészíti a tanító által körülrajzolt vonal alapján a felismeréshez szükséges templátot is. Ezután megkísérli megtalálni az input képben az imént specifikált finom jellemzőt. Ha nem sikerül megtalálni, akkor ezt jelzi a tanítónak, aki ezután változtathat a szóban forgó finom jellemző specifikálásán. /A sikertelenség oka lehet hibás specifikáció, vagy túl zajos kép./

Ha a programnak sikerül megtalálnia az utóbb specifikált finom jellemzőt a képben, akkor ezt jelzi a tanítónak, valamint javasol egy megbízhatósági számot /mindegyik finom jellemzőre az V.6 ábráról leolvasható határok között/ annak alapján, hogy neki milyen biztonsággal sikerült azonosítani a keresett finom jellemzőt /más szóval, a hiba mennyire közelítette meg a hibaküszöböt./ Ezt a javasolt megbízhatósági számot a tanító fölülbírálni, például növelheti, ha megítélése szerint nagyon zajos a keresett finom jellemző környékén a kép /és az o-

perátor mégis megtalálta a jellemzőt/, vagy ellenkezőleg, csökkentheti a megbízhatósági számot, ha megítélése szerint a képen a finom jellemző a szokottnál tisztábban látszik. A robotot tanító ember az ilyen döntések meghozatalában igen hamar megszerezzi a szükséges gyakorlatot.

A tanítónak joga van akkor is megtartani a specifikált finom jellemzőt, ha a program azt a képen nem tudja megtalálni. /Pl. mert a kép túl zajos a finom jellemző környékén./ Természetesen ebben az esetben célszerű alacsony megbízhatósági értéket rendelni a finom jellemzőkhöz.

A tanító dolga eldönteni, azt is, hogy mennyi finom jellemzőt specifikáljon egy tárgyhoz. Ha a finom jellemzők specifikálása befejeződött, akkor a program felveszi a most megalkotott tárgymodellt is a többi modellek közé, és megkísérli az input képet /minta most kapta volna/ felismerni. Ha a felismerés nem sikerül /nem ismeri fel a tárgyat, vagy mást ismer fel helyette/, akkor vagy ehhez a tárgyhoz, vagy ahhoz, amelyikkel összetévesztette, további, újabb finom jellemzőket kell a kezelőnek definiálnia. Elképzelhető például az is, hogy korábbi tárgy felismeréséhez néhány finom jellemzőt nem kellett specifikálni, és mindeddig a felismerés így is egyértelműen ment, de az új tárgy ettől a régitől csak olyan finom jellemzőkben különbözik, amelyek eddig nem szerepeltek a régi tárgy modelljében. Ebben az esetben nyilván a régi tárgy modelljét kell bővíteni.

VI.3.2 Egy példa a modell elkészítésére

A finom jellemzők megadására látható egy példa a VI.1 ábrán. 23 finom jellemzőt jelöltünk be. Nagy lyukat definiálunk az A_{12} és A_{13} ablakban; kis lyukat az $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ ablakokban, kiszögellést az A_{22} és A_{23} ablakokban, élet az A_{11} , A_{14} , A_{15} és A_{16} ablakokban, végül sarkot specifikálunk az A_7 , A_8 , A_9 , A_{10} , A_{17} ablakokban.

A külső konturt kellőképpen meghatározza az $R(\vartheta)$ tábla, így ott nem szükséges a kis kidudorodásokon kívül egyéb finom jellemzőket megadni. A belső lyukak közül a legnagyobb láthatólag túl nagy ahhoz, hogy nagy lyukként specifikáljuk, ezért kellett sok egyéb jellemzővel leírni. Az A_{14} ablakban definiált egyenes nem hibás, de túlzott biztosítás.

Célszerű a frissen megalkotott, illetve megváltoztatott modelleket néhány további input kép felismertetésével letesztelni, és csak ezután venni fel a felismerő programban tárolt modellek közé.

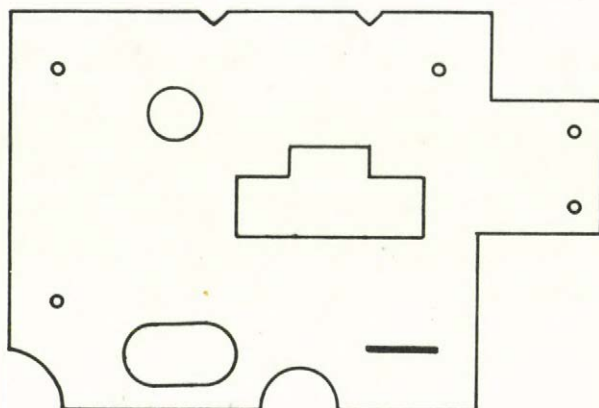
Természetesen a felismerő programot nemcsak új tárgyakra lehet megtanítani, hanem el is lehet felejtteni vele már tovább elő nem forduló tárgyakat. A felejtés egyszerűen a tárgy modelljének törlését jelenti a modellek közül. Ugyanez történik akkor is, ha egy régi tárgymodellt megváltoztatunk.

VI.3.3 A tanító rendszer interaktív elemei

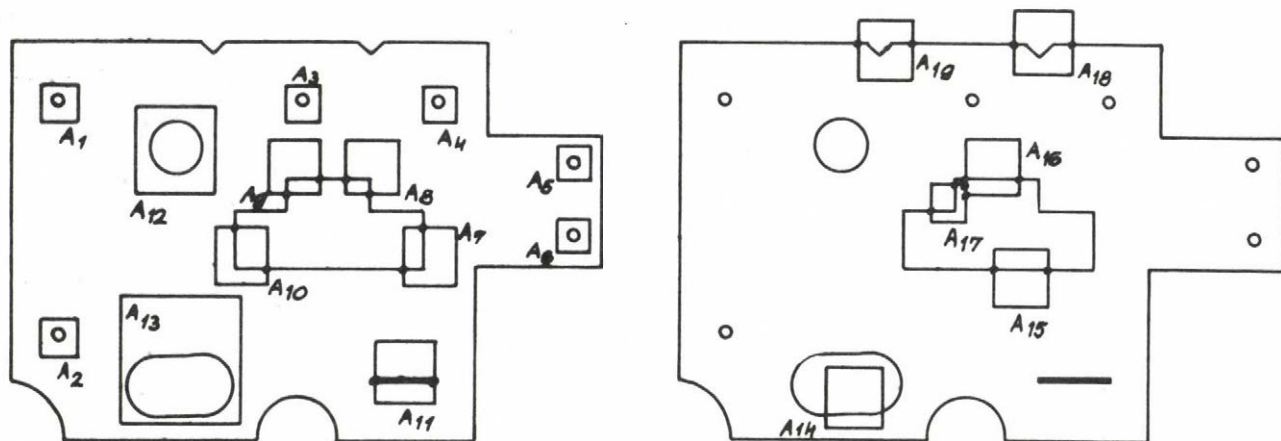
A modell-törlés gyakorlatilag úgy történik, hogy a kezelő előtt, az alfanumerikus display-n megjelenik az eddig megtanított modell-leíró file-ok listája, amelynek tetszőleges eleme törölhető.

Modellek módosításakor a megfelelő file kiválasztása után megjelenik a grafikus display-n az illető tárgy képe, rajta az eddig definiált ablakokkal. A cursorral új ablak generálható a VI.3.1 pontban leírtak szerint, illetve bármelyik korábbi ablak tartalma lekérdezhető, majd törölhető, illetve újra definiálható.

INPUT KÉP



FINOM JELLEMZŐK MEGADÁSA



VI. 1. ábra

I R O D A L O M

- /1/ C.K.Chow, T. Tanaka: Boundary detection of radiographic images by a threshold method. Megj. a "Frontiers of Pattern Recognition" c. kötetben /szerk. S.Watanabe/, New York, 1972. p. 388-410.
- /2/ M.Yachida, S.Tsuji: A versatile machine vision system for complex industrial parts; IEEE Tr. Comp. 26 /1977/ 882-894.
- /3/ H.Freeman: On the encoding of arbitrary geometric configurations; IRE Tr. Elec. Comp. 10 /1961./, p. 260-268.
- /4/ R.O.Duda, P.E.Hart: Pattern Classification and Scene Analysis; New York, London, 1973.
- /5/ L.Mérő, Z.Vassy: A simplified and fast version of the Hueckel operator for finding optimal edges in pictures; Proc. 4. IJCAI, Tbilisi, 1975. 650-655.
- /6/ L.Mérő: A quasi-parallel contour following algorithm, Proc. AISB /G/ Conf. on Artificial Intelligence, 1978.
- /7/ T.Vámos, Z.Vassy: The Budapest Robot, MTA-SzTAKI, Tanulmányok, 30/1974.

3. rész

E S Z K Ö Z Ö K É S M E G V A L Ó S Í T Á S

VII. A KÉPBEVITELI HARDWARE KÉRDÉSEI

VII.1 Bevezetés

A számítógépes képfeldolgozás igénye napi problémaként jelentkezik az ipari termelés és a tudományos kutatás számos területén. Ennek oka, hogy a primer információ igen sok esetben látható formában jelenik meg és ennek az információnak hagyományos uton való feldolgozása szinte megoldhatatlan feladat. A vizuális adatok feldolgozásának témájában folyó munka célja az ilyen jellegű információk közvetlen számítógépes elemzése. Ennek során olyan számítógép-periféria került kifejlesztésre, amely bármely hazai gyártmányú TV-kamera képét előfeldolgozás után a számítógép memóriájába juttatja. Az így nyert digitális képek a IV. pontban ismertetett programok segítségével átalakíthatók, feldolgozhatók. A képfeldolgozó berendezés felhasználási lehetősége a gépiparban igen széleskörű: anyagmozgató, festő és szerelő robot-rendszerekben, mikroszkópikus és makrokópikus fém-szerkezet-vizsgálatban, gyártásközi ellenőrzésben, munkadarabok válogatásában nyújthat segítséget. Jelenleg folyik a berendezés mikroprocesszoros cél-változatának fejlesztése.

VII.2 Képfeldolgozó rendszerek

A számítógépes képfeldolgozás folyamata két fő részre bontható: az első a kép primér feldolgozása, azaz letapogatása, átalakítása digitális formában és a számítógép-memóriába juttatása, a második a képi információ számítógépes feldolgozása vagyis analízise, átalakítása, stb. Az utóbbi művelet elvben bármilyen számítógépen, az adott feladatra kifejlesztett software révén történhet, az előbbi speciális képfeldolgozó eszközt és módszert igényel, így döntően ez határozza meg a képfeldolgozó rendszer kialakítását.

A képdigitalizálásra szolgáló hagyományos eszközök és módszerek /pl. kézi konturkövetés/ on-line feldolgozásra alkalmatlanok,

kezelésük fárasztó, időrabló és pontatlan. A korszerű képfeldolgozó eszközök három fő csoportra oszthatók: teljesen elektronikus, félvezetős és elektromechanikus megoldások. A képfeldolgozó rendszerek legfontosabb típusait a VII.1 ábra foglalja össze.

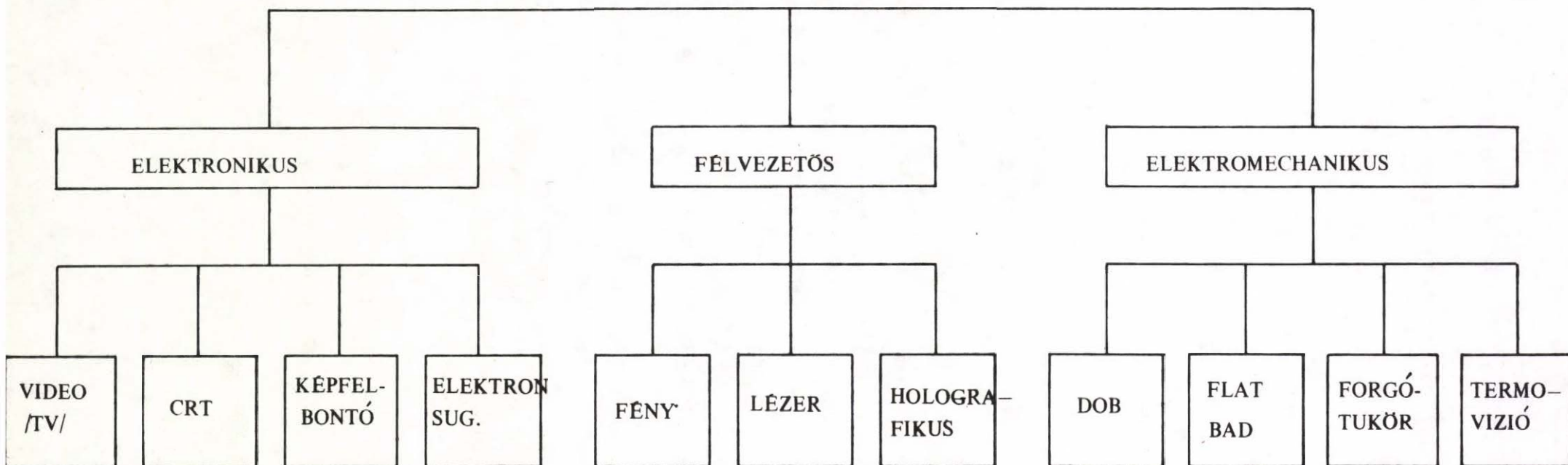
A legelterjedtebb elektronikus eszköz a video /TV/ kamera, amelynél a képfelbontás és az átviteli sebesség szabványosított, az eredeti és átalakított kép monitoron megfigyelhető. További előnyei: olcsó, jelei nagy távolságra továbbíthatók, a videojel könnyen digitalizálható, a kép tetszőleges lehet.

A katódsugárcsőve /CRT/ letapogatásnál a cső által előállított sugarat a képre vetítve a visszavert fénysugarat detektor /fotomultiplier/ érzékeli és alakítja át árammá. Ilyen módon szelektív letapogatás érhető el és az eszköz a kép megjelenítésére is alkalmazható. Az elektronsugaras berendezés hasonlóan működik, de a kép /gyakorlatilag film/ a képcsővön belül helyezkedik el. Ez nehézkessé teszi alkalmazását. A képfelbontóban a kép apertúra előtt mozog, a visszavert fénysugarakat dióda lánc erősíti. Ez a rendszer gyors, véletlen hozzáférésű, kevesebb nonlinearitással rendelkezik, mint a TV és CRT technikák, de jel-zaj viszonya rossz.

A félvezetős eszközök a képet egy- vagy kétdimenziós diódamátrixra képezik le /elektronikus retina/. A letapogatás közönséges fénnel, vagy monokromatikus koherens sugárral /lézer/ történhet. E módszer gyors, egyidejű képdigitizálást tesz lehetővé, és a jelek közvetlenül számítógépbe juttathatók, hátránya, hogy igen költséges. Térbeli "képek" esetén a holográfiás technika is alkalmazható. A megjelenítés LED mátrixokkal vagy holografikus uton valósítható meg.

Az elektromechanikus rendszerek közös jellemzői: nagy, de kötött képformátum, nagy felbontóképesség, nagy kontrasztarányok, nagy működési sebesség, a véletlen hozzáférés hiánya, anyagszerű sík kép szükségessége. A forgódobos megoldásnál a dobra erő-

KÉPFELDOLGOZÓ RENDSZEREK



VII. 1. ábra

sített forgó képet egy alkotó mentén mozgó fotomultiplier tapogatja le, az utóbbi jele erősítés és digitalizálás után - a dob-pozícióval összevetve - feldolgozható.

A flat-bed képfeldolgozásnál a síkban elhelyezkedő képet derékszögű koordinátarendszerben mozgatják. Előnye a tetszőleges formátum, viszont lassabb a dobosnál. A forgótükrös megoldásnál a hengerpalástra erősített, az alkotó mentén mozgatott képet kistömegű forgótükrök segítségével tapogatják le. A visszavert fénysugarat fotódióda vagy fotomultiplier érzékeli és erősíti. A termovízióban szintén mechanikus /forgó cillindrikus lencsés/ felbontást alkalmaznak. Ez az eszköz speciálisan az infravörös tartományában dolgozik, kimenőjelként közönséges videojelet bocsát ki.

Az elektronikus képfelvevő eszközök olyan előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek /mozgó alkatrész nélküli letapogatás, szabványosított jelek, megoldott nagytávolságu átvitel, stb./, hogy a továbbiakban, mint a gyakorlatban legelterjedtebb eszközökkel, velük foglalkozunk részletesebben.

VII.3 Képfelbontó csövet alkalmazó képdigitalizáló rendszerek

A képfelbontó csöveket rendkívül elterjedten használják képdigitalizáló rendszerek érzékelőjeként. Számos gyártmány készül ilyen eszközök felhasználásával, másrészt sok kutatóhelyen készült speciális berendezés valamilyen célkitűzés megoldásához. A VII.1 és VII.2 táblázatban összehasonlítottuk a legfontosabb csőtipusok és gyártmányok jellemző adatait.

Részletesebben a tároló típusu képfelbontó csövek alkalmazásával kívánunk foglalkozni. Az alapvető kérdés a letapogatás rendszerének és sebességének megválasztása. A letapogatás módja döntően befolyásolja a kimenő jel szintjét, alakját, és zajviszonyait. A képbontó csöveket alapvetően TV rendszerekhez fejlesztették ki, így optimális működését TV-rendszerű letapogatás mellett érhetjük el.

Az alábbiakban néhány ilyen berendezést vizsgálunk meg.

Video Digitizer 270 /Colorado Video Incorporated/

A berendezés szabványos 2:1 kitöltésű TV összetett video jelet fogad. X és Y koordináták segítségével címezhető a képmező bármely pontja. A rendszer displayt is tartalmaz, amely lehetővé teszi a digitalizált kép monitoron való megjelenítését. A berendezés teljesen TTL kompatibilis csatlakozású.

Főbb műszaki adatai:

X pozíció 9 bites bináris

Y pozíció 8 bites bináris

Field kiválasztás 0 - páros

1 - páratlan

Digitalizált video: 8 bit

Kezelőszervek: fekete szint eltolás

video amplitudó állítás

Felbontás: 512x480 max.

"Robot-szem" /Insztitut Peredacsi Informacii, SZUTA, MOSZKVA/

A rendszer kötött soros kamera és MINSZK 22 számítógép között teremt kapcsolatot. Biztosítja a kamera ZOOM optikájának számítógéppel történő vezérlését is. A hat-bites intenzitás kódokat 256x256-os felbontás mellett állítja elő. A berendezés 2x8 bites X és Y koordináták szerint címezhető.

Computer Graphics Laboratory Digitizer /Australian National University/

A berendezés 2:1 kitöltésű TV jelet 4 bites intenzitás kódra bont 256x256-os felbontással. A berendezés 2x4 bites XY koordináták szerinti ablak-címzést tesz lehetővé.

Video Digitizer /Micro Consultants LTD/

A berendezés 10 bites felbontású /!/. Az átvitt sávszélesség 4 MHz, a megengedett mintavételi frekvencia 20 nsec.

A fenti adatok alapján a berendezés nem tartozik a kellően át-

képfelvevő cső típusa	érzékenység A/lumen	csucsfény lux	target terület cm ²	sötét áram A	csucsfény áram A	belső S/N		utánvilágítás 5% maradvány sec	kimenő jel és S/N függés		
									S	S/N	
CRT+ fotómulti- plier	150	30	40 ^{*3}	0,05	200 ^{*8}	60	1	0	EA	$\frac{EA_{aa}}{V_s}$	1/2
Képdiszektor	100	500	24 ^{*4}	10 ⁻⁶	100	10 ^{*10}	1	0	Ea	$a \cdot \frac{E}{V_s}$	1/2
képortikon	100	1	18	30	8 ^{*9}	80	1 ^{*12}	0,05	EV _s ^t	Eat	1/2
Vidikon /Sb ₂ S ₃ /	200	0,1	8 ^{*5}	0,02	0,2	200 ^{*11}	0,65	0,2	EV _s ^t	$\frac{Ea^{3/2}t^{x14}}{V_s^{1/2}}$	
Plumbikon	300	5	2	10 ⁻³	0,3	200 ^{*11}	0,95	0,06	EV _s ^t	$\frac{Ea^{3/2}t^{x14}}{V_s^{1/2}}$	
SEC Vidikon	150 ^{*1}	0,02	1,3 ^{*6}	10 ⁻⁹	0,1	120 ^{*11}	1 ^{*12}	0,03	EV _s ^t	$\frac{Ea^{3/2}t^{x14}}{V_s^{1/2}}$	
Permachon	10 ³	10 ^{*2}	1,2	0,05 ^{*7}	1 ^{*7}	-	-	10 ^{3*13}	Eat	$a \cdot \frac{Et}{V_s}$	1/2

E: fotófelület megvilágítása; A: hasznos target v. CRT keretterület; a - elemi letapogatott v. diszektor nyílás terület V_s : letapogatási sebesség a/ ; t-exponálási idő

Megjegyzések: *1; target erősítés 100, *2; lux sec, *3; CRT keretterület, *4; fotókatód területe, *5; mindegyik 8 cm² fotókatód területtel, *6; 3,2 cm² fotókatód terület, *7; 10 perc folyamatos kiolvasás után, *8; függ a fotómultiplier erősítésétől, *9; a kimenő áram, *12; a csucsfény alatt, *13; 30% csökkenés a kontrasztban 10 perces kiolvasás után, *14; az erősítő zajától függ.

Gyártó	Philips	Westinghouse	RCA	CE	RCA
Tipus	XQ 1020	WL 5140	8507 A	FPS-4	C23061A
Méret /mm/	30	50	25	40	51
Tipus	Plumbikon	Vidikon	Vidikon	Vidikon	visszatérő sugaras Vidikon
Felbontás /l/					
képközépen	27	61	47	45	70
szélen	25*	46*	33	34	65*
Képméret	12, 8x17,1	21, 4x28,4	9, 5x12,8	12,2x20,3	22,8x22,8
Sötétáram /nA/	1	20	30	20	8
Érzékenység					
Megvilágítás /lux/	2	4	10	5	0,4
jeláram /nA/	200	200	200	200	2 A*
Utánvilágítás /3 field/ százalék	6	42	20 ^{/3/}	40	55*
megvilágításnál /lux/	0,1	0,8	-	10	2
Eltérítés	mágneses	mágneses	mágneses	elektrosztatikus	mágneses
Fókuszállás					
ágyu	mágneses	mágneses	mágneses	mágneses	mágneses
erősítő	-	-	-	-	-
Elektronikus blende	nincs	nincs	nincs	nincs	nincs
Teljesítmény /watt/	30	50	30	25	60
Élettartam /óra/	500 1000	3000 4000	-	3000 4000	3000

Megjegyzések: * - becsült érték; 1 - 10 % négyszögjel /vonal/mm/; 2 - ennél a megvilágításnál a jel/zaj arány 10:1; 3 - kisebb az utánvilágítás megnövelt megvilágítás és kisebb targetfeszültség esetén

VII.2. táblázat /1. rész/

Gyártó	Westinghouse	CE	RCA	ITT
Tipus	WX 30654	Z7901	C 21117C	F4011
Méret/mm/	40	25	40	35
Tipus	SEC	SEC	SIT	Diszektor
Felbontás /1/ képközépen	14	25	13	/50 m apertura/ 22
szélen	9	18	10*	19*
Képméret	24, 4x31,8	15, 2x20,3	24, 4x31,8	16, 8x31,8
Sötétáram /nA/	0,5	0,5	5	-
Érzékenység Megvilágítás/lux/	2×10^{-4}	7×10^{-2}	7×10^{-4}	1000
jeláram /nA/	200	200	200	500 A ^{/2/}
Utánvilágítás /3. field/ százalék	14	18	8	nincs
megvilágításnál /lux/	4×10^{-3}	3×10^{-3}	7×10^{-4}	-
Eltérítés	mágneses	elektrosztatikus	mágneses	mágneses
Fókuszállás ágyu	mágneses	mágneses	mágneses	mágneses
erősítő	elektrosztatikus	elektrosztatikus	elektrosztatikus	-
Elektronikus blende	van	van	van	nincs
Teljesítmény /watt/	35	30	30	30
Élettartam /óra/	500 1000	500 1000	1000	10 000

Megjegyzések: * - becsült érték; 1 - 10 % négyszögjel /vonal/mm/; 2 - ennél a megvilágításnál a jel/zaj arány 10:1; 3 - kisebb az utánvilágítás megnövelt megvilágítás és kisebb targetfeszültség esetén

gondolt gyártmányok közé. A 4 MHz sávszélesség cca 300 pont megkülönböztetését teszi lehetővé sorirányban, így az értelmes legkisebb mintavételi idő cca 150 nsec. Másrészt a 10 bites szintfelbontás a szóhajóhető érzékelők esetén teljesen fölösleges.

Image Processor /Quantex Corp./

A DS12 típusu digitális képmemória/processzor képrögzítési, feldolgozási és kijelzési feladatot képes ellátni. A DS12 a TV képet real-time dolgozza fel /egy képeltérítés alatt/. Nagy kapacitású félvezetős tára egy teljes kép rögzítését teszi lehetővé. 4 bites kódokat állít elő. Felbontóképessége 256x256. Ára kb. 14000 \$.

Real Time Video Hardware /Mayo Medical School/

Ez a berendezés az elsők között van, mely az áramköri technológia fejlődése alapján nem csak egyszerű digitalizálási, de bizonyos preprocesszási feladatokat is el kíván végezni. Az alaprendszer 9 bites szint felbontású, max. 1225x1024 képpontot különböztet meg. Speciális célaritmetika teszi lehetővé a képek számítógép nélküli gyors preprocesszáását.

OMNICON /Bausch and Lomb/

A rendszer, mint komplett alakzat-analizáló berendezés került a piacra. A berendezés autonóm módon működik, magába foglalja a számítógépet is.

Szabványos TV letapogatást használ, vidikon vagy plumbikon típusú képfelbontó csővel. Linearitása 0,5 %-nál jobb, jel-zaj viszonya 50 dB. Felbontása a teljes képmező 0,3 %-a /cca 330 képpont/.

Három szűrkeségi szintet különböztet meg, melyek állítása mind kézi, mind pedig automatikus üzemben történhet.

A rendszer BASIC-ben programozható, alapkiépítésben 16K operatív tárral rendelkezik.

Opcionális eszközökkel közvetlenül csatlakoztatható fény és elektronmikroszkóphoz is. Ára kb. 30.000 \$.

Hamamatsu C1000

A Hamamatsu C1000 az első olyan vidikon rendszer, melyet kimondottan számítógépes felhasználásra terveztek. A rendszer teljesen moduláris felépítésű, mely lehetővé teszi a felhasználói igényekhez való tökéletes alkalmazkodást.

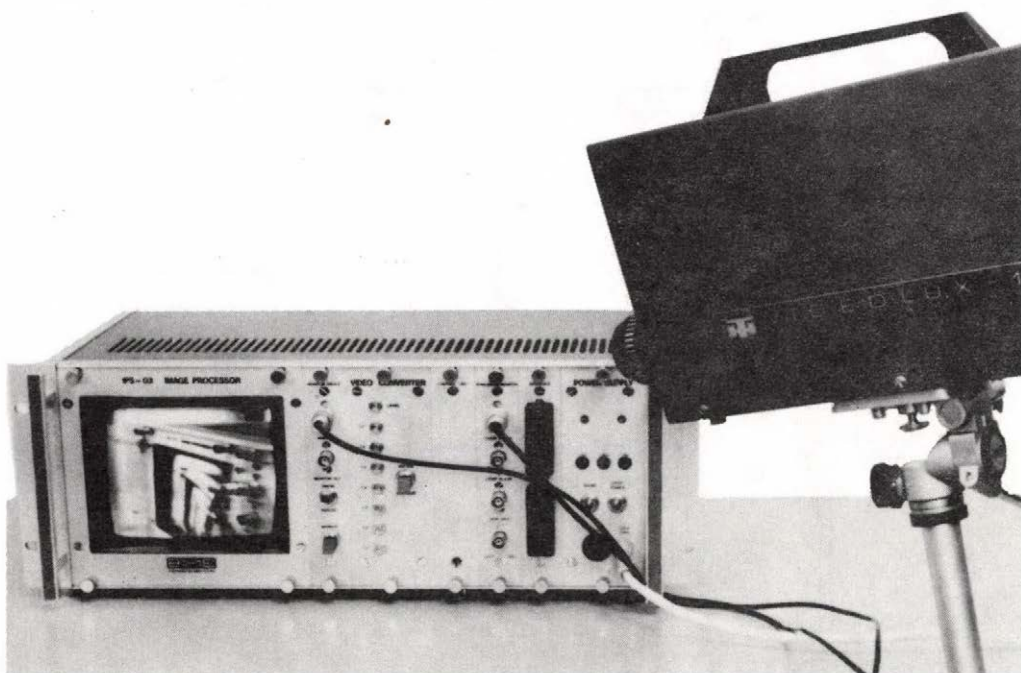
Az érzékelő kamera olyan nagyfelbontású egység, melynek műszaki paraméterei kiválóak /torzítás 0,2 % alatt, a drift jobb, mint 0,05 %/nap! Opcionális modulok segítségével építhető ki a megkívánt rendszer /A/D konverter /8 bit/50 nsec/, X és Y irányú címző hálózat, torzításkorrekciós modul, érzékenységgörbekorrekciós modul, stb. Az optikák változtatásával illeszthető a berendezés a különböző típusú mikroszkópokhoz is.

A kamera különböző csőtipusokkal rendelhető, biztosítva az adott feladathoz való tökéletes alkalmazkodást /vidikon, infravörös, szilíciumtarget, chalnikon, plumbikon, stb./.

A Hamamatsu rendszer 8 bites, 1024^2 képpontból álló digitális képet képes létrehozni, mely részeiben is elérhető. A berendezés nagyon korszerű elvek szerint készült, egyetlen hátránya a viszonylagos lassúsága.

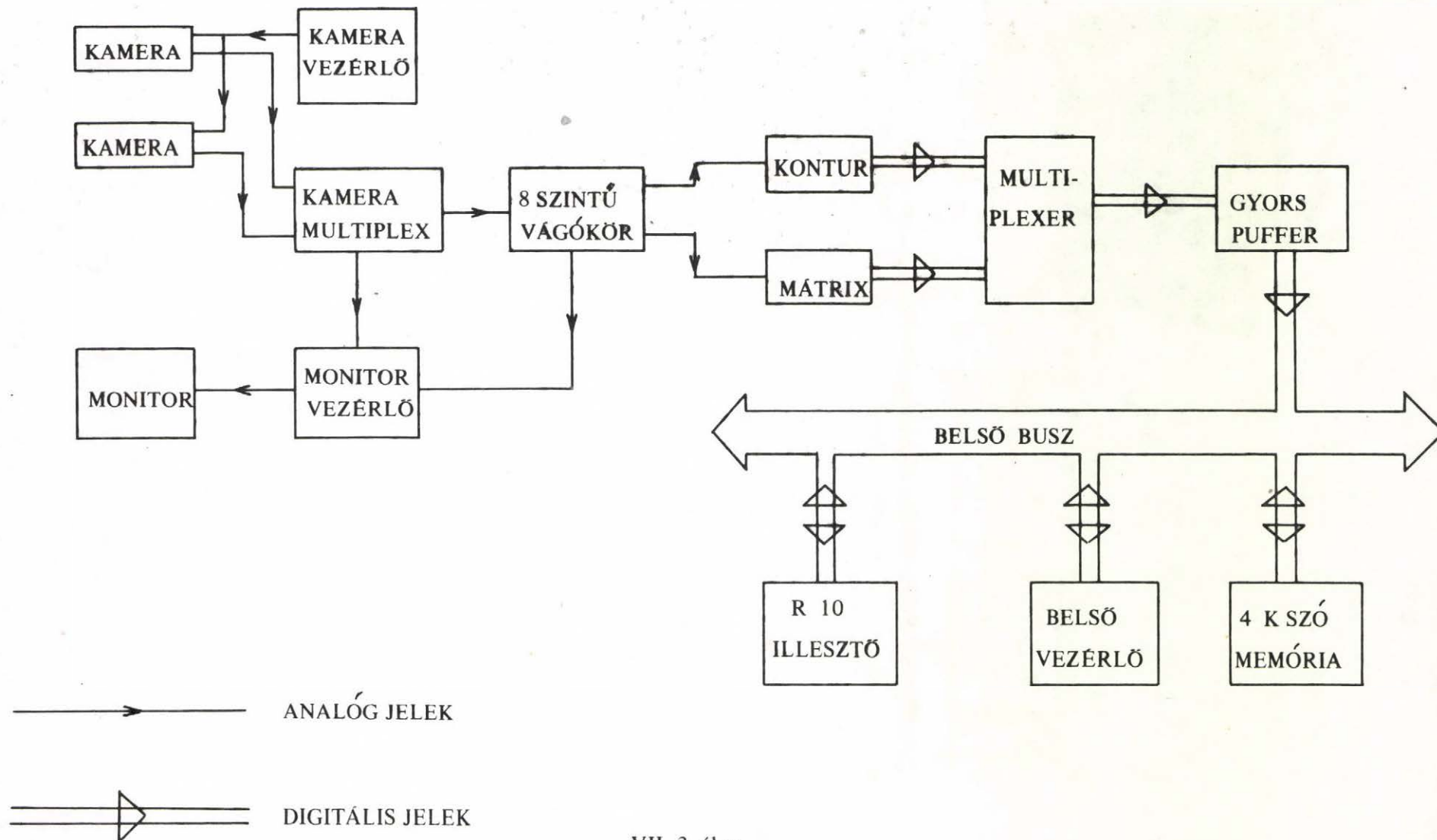
Összefoglalva a képfelbontó csöveket alkalmazó rendszereket, megállapítható, hogy a tároló jellegű csöveket TV rendszerű letapogatás mellett használják. A szabványosított jelek lehetővé teszik így az érzékelők egymás közötti cseréjével a feladathoz való optimális alkalmazkodást. Másfelől a TV-s letapogatás rendkívül leegyszerűsíti a kép visszaállításának és kifejlesztésének problémáját.

A berendezések felbontóképessége általában két szempontból korlátozott. Egyik oldalról az érzékelők minősége állít korlátot, másik oldalról pedig a feldolgozó berendezés memóriakapacitása



VII. 2. ábra

A KÉPFELDOLGOZÓ BERENDEZÉS FELEPÍTÉSE



korlátoz. Ezért az egyszerű képdigitalizálók mágnesszalagra dolgoznak. /pl. Video Digitizer 270/, az összetettebb berendezések pedig képesek előfeldolgozásra és adattömörítésre /OMNICON/.

VII.4 A kamerás képfeldolgozó berendezés /IPS/

A továbbiakban a Budapesti Műszaki Egyetem és az MTA-SzTAKI együttműködésében kifejlesztett képfeldolgozó rendszert ismertetjük, mint olyat, amivel kapcsolatban elegendő gyakorlati tapasztalat áll rendelkezésre. A fejlesztés célja olyan nagysebességű, általános célú on-line üzem módra alkalmas rendszer kialakítása volt, amely viszonylag kis memóriaterületet igényel a kép tárolására. A munka eredménye az IPS-03, amelyet a továbbiakban ismertetünk.

A képfeldolgozó rendszer három egységből áll, ezek: standard zárt láncú kötött soros TV kamera zoom optikával, képfeldolgozó és interface egység /IPS-03/ és kisszámítógép. /VII.2. ábra/ A rendszer legfontosabb része az IPS, amely a TV kamera videojelét digitalizálás és előfeldolgozás nagy sebességgel a számítógép memóriájába küldi.

A képi információ bevitelére alkalmas számítógép periféria az MTA-SzTAKI-ban megvalósított konfigurációban az R 10 számítógép minibuszára csatlakozik. Belső puffermemóriája révén egy képnyi információt tárol, és azt blokkos átvitelrel továbbítja a központi egységbe. A kamera és a monitor a kereskedelembe kapható, ismert specifikációjú eszközök.

VII.4.1 Az IPS funkcionális elemei

Az IPS kialakítása korszerű elveket követ; belső nagysebességű adatsín köré szervezett modulokból áll. /VII.3. ábra/ Az egyes modulok a következők:

- kamera vezérlő: az IPS-t szinkronizálja a kamera képváltásaihoz; a CPU /Központi Egység/ indítási parancsát követően megkeresi a kép elejét és a kamera szinkronjeleiből előállítja a

feldolgozás ütemezéséhez szükséges vezérlőjeleket. A berendezés kamera multiplexert tartalmaz kétkamerás rendszer kialakításához.

- videojel konverter: a képi információt hordozó analóg videojelet maximum 8 kalibrálható szinten komparálja és digitális jellé alakítja.
 - jelölőfeldolgozó és tulcsordulás jelző: feladata a szintváltások detektálása, a koordináták puffereelésének kezdeményezése, illetve a szintváltások számlálása, tulcsordulás esetén a képfeldolgozás leállítása és ennek jelzése a CPU részére.
 - puffermemória: a képnek a CPU-ba való átvitelt megelőző tárolását végzi, kapacitása 4 K szó, félvezetős elemekből épül fel és max. 8 K szóig bővítési lehetőséget tartalmaz.
 - vezérlőegység: a rendszer időzítését végzi, az IPS különböző működési fázisait ütemezi, vezérli az adattárolást és az adatátvitelt, a szintváltások koordinátáit gyorsregiszterekben tárolja, majd blokkosan továbbítja a puffermemóriába. /Feladatai közé tartozik a gyorsregiszter és a puffermemória címképezése is./
 - belső adat- és vezérlőjel sinrendszer: az IPS belső adatforgalmát bonyolítja le. A belső busz szervezésében kompatibilis az Intel 8080 mikroprocesszor buszrendszerével, így a megfelelő mikroprocesszor beiktatásával a működés autonómmá tehető. Ennek megfelelően a belső sin 8 kétirányú adatvezeték, 16 címvezeték és 5 vezérlőjel vezeték tartalmaz.
 - számítógépoldali interace: több részre tagozódik, ezek közül a legfontosabbak:
 - parancskódoló és felismerő logika;
 - megszakítás generáló logika;
 - puffer kiolvasás vezérlő;
 - időzítő egység.
- Az interface feladata a képbeviteli egység és a számítógép CPU közötti adat- és vezérlési kapcsolat megteremtése. Az interface a következő parancsokat tudja értelmezni:
- feldolgozás indítása 8 szinten
 - feldolgozás indítása 4 szinten
 - adatátvitel indítása

- beépített monitor: lehetővé teszi mind az analóg, mind a digitális kép megfigyelését illetve a szürkességi szintek pontos beállítását. Kijelzési lehetőségek:
 - analóg kép
 - 8 szintű digitális kép
 - konturos 8 szintű kép
 - egyes komparátorok kiválasztott jelei

VII.4.2 Az IPS jellemzői

A berendezés az alábbi utasításokat értelmezi:

- képméret kijelölés: teljes, 1/4 és 1/16 kép
- felbontóképesség beállítás: normál, finom extra finom
/71x86; 143x192; 287x384 a teljes képre vonatkoztatva/ opcionális lehetőség: 575x768 nagyfelbontású kamera /pl.Hamamatsu/ esetén
- ablak pozíció kijelölés: max 16 lehetséges pozíció

Mátrixos adatformátum esetén a kiinduló alap a teljes kép finom felbontása. Az utasításkészlet lehetővé teszi 1/4 kép extra finom felbontását, ami az adatformátumot változatlanul hagyja, így hatása egy software-vezérlés nagyításként fogható fel. /Nagyfelbontású kamerával a kép 1/16-val is elérhető ugyanez. /

Konturos adatoknál a fenti szervezés lehetővé teszi a teljes kép szegmensenként történő átvitelét és feldolgozását, megakadályozva megnövelt /15K-szó/ puffer és a számítógép operatív tár tulcsordulását. Konturos adatoknál a koordináták a teljes képre vonatkoztatott abszolút értékek.

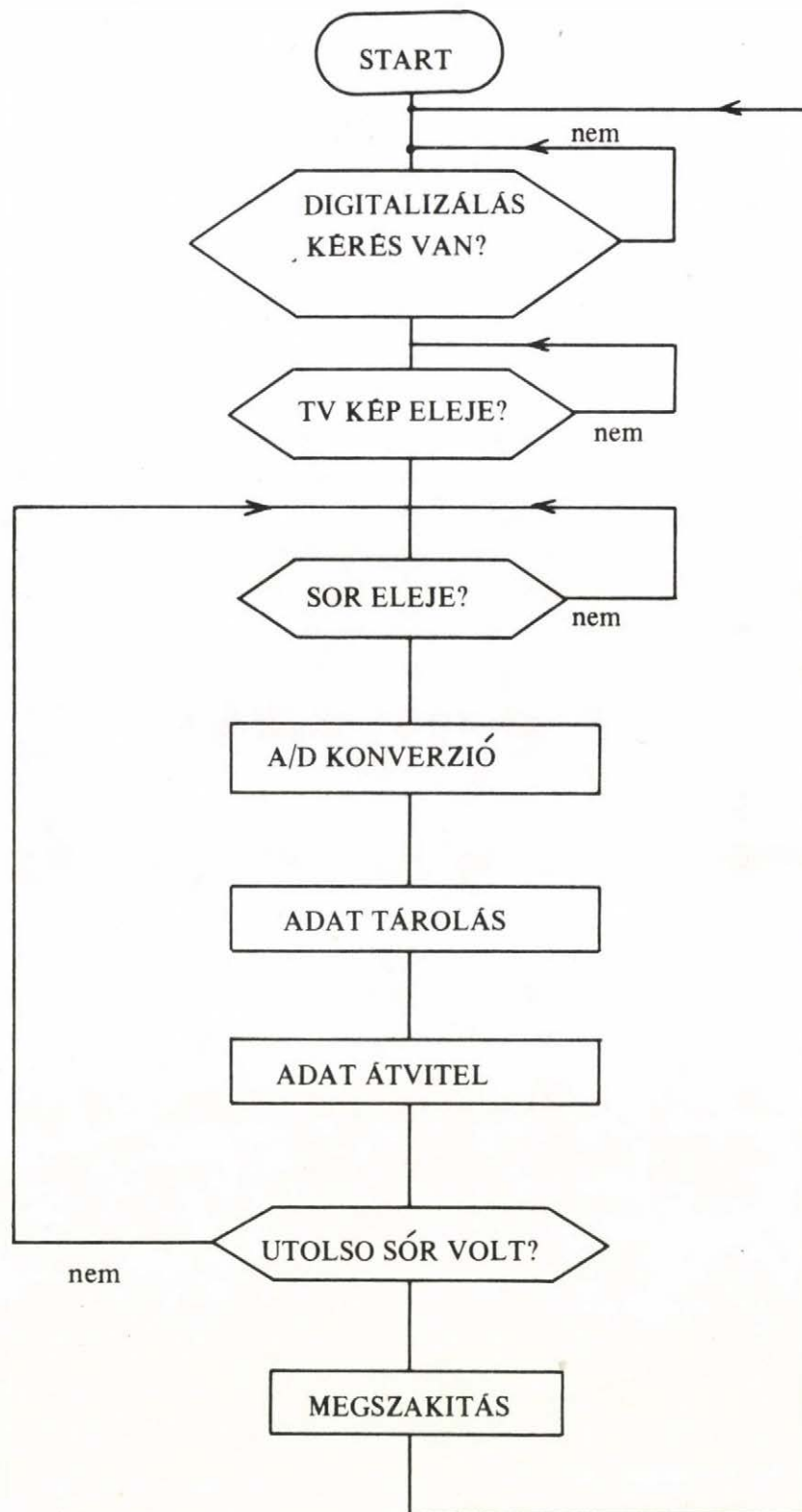
A beállítható szürkességi szintek száma 8, nyomógombok segítségével a szintek egyenként maszkolhatók. A hardware szervezés lehetővé teszi a detektálható szintek számának 16-ra való kiterjesztését. Az átlagos konverziós idő 50 ns, egy teljes kép jelfeldolgozása 100-150 ms-t vesz ki a csatornasebességtől függően. A konverziós logika két adatformátumot tesz lehetővé: a mátrix formátum 12 bites szava 3 bites blokkokból áll, melyek mindegyi-

ke egy-egy képpontot reprezentál. A kontur formátumban egy jelzőbit választja szét az x és y koordinátákat, egy 3 bites blokk reprezentálja az aktuális szinteket, a további bitek a koordinátát tartalmazzák.

A berendezés mechanikai kivitele a normál ipari zárt tér követelményeinek megfelelő. A kamera külön állványon helyezkedik el és maximum 10 m-es kábellel csatlakozik az IPS-hez. Az IPS és a monitor szabványos KONTASET dobozban nyert elhelyezést. Két kezelőszerv /fekete-szint eltolás és átfogási tartomány állítás/ teszi lehetővé a helyi viszonyokhoz történő alkalmazkodást.

A berendezés csak az összetett videojelet igényli a kamerától. Ilymódon lehetőség van 4:1 kitöltésű nagyfelbontású kamera alkalmazására is. Ez a megoldás biztosítja a képmagnó esetleges illesztését is.

A rendszer működésének legfontosabb lépései: programozott indítás, az első sor elejének megkeresése, soronkénti A/D konverzió, adattovábbítás a visszafutás ideje alatt soronként, az átvitel végén megszakításkérés. /VII.4. ábra/



A képdigitalizáló egység működése
VII. 4. ábra

I R O D A L O M

Hajnal, M., Loványi, I., Vajta, L.: On-line digital image processor using a CCTV Camera input and its applications. Preprints of International Conference on Optical Computing in Research and Development /Visegrád, 4-9 Oct., 1977/

Hajnal, M., Loványi, I., Vajta, L.: Számítógépes ipari képfelismerő rendszer, XII. Ipari Elektronikus Mérés és Szabályozás Szimpózium kiadványa /MATE Balatonszéplak, 1975 szept. 8-10./

Mérő, L.: The implementation of a fast contour-searching algorithm in TV or laser picuters on the R10 minicomputer Proceedings of the 2nd Hung. Computer Science Conference, Budapest, 27 June-2 July, 1977.

VIII. A FELISMERÉS ÉS TANÍTÁS HARDWARE ESZKÖZEI

VIII.1 Alternatívák és rendszer kialakítására

Az alakfelismerő képességgel rendelkező robot-irányító berendezés tervezésekor lényeges szempontként merül fel, hogy a gyártócsarnokban, a befestendő lemezeket szállító szalag mellett minél kevesebb HW eszköz legyen elhelyezve, a telepítendő berendezés kialakítása minél zártabb, működése a lehető legmegbízhatóbb legyen.

Ebből kiindulva nem látszik célszerűnek a gyártási folyamat mellé egy komplett számítógépes konfigurációt tenni, amelynek révén mind a felismerési, mind a tanítási /modellezési/ feladatok elláthatók lennének. Egy ilyen berendezés működtetése állandó személyzetet igényelne, kapacitását nem lehetne folyamatosan kihasználni, létrehozása tetemes anyagi ráfordításokkal járna és az üzemi körülmények hátrányosan befolyásolnák az üzembiztos működést.

Ugyancsak nehezen kivitelezhetőnek látszik a felismerő berendezés és a gyártófolyamat térbeli szétválasztása - a feladat "táv-irányítással" történő végrehajtása az üzemi számítóközpontjából. Ez a megoldás a rendszer használatát meglehetősen rugalmatlanná tenné. Emellett jelenleg nem is áll rendelkezésre elegendő információ egy ilyen rendszer megtervezéséhez, az üzem jelenleg foglalkozik egy nagyobb számítógép beszerzésével.

A fenti szempontokat figyelembe véve célszerű szétválasztani a felismerésre illetve a rendszer "tanítására" szolgáló HW eszközöket. A gyártósor mellett a mikroprocesszoros kivitelezésű felismerő berendezés helyezkedik el - a rendszernek ez a része igényel elsősorban HW fejlesztő munkát. A tanítást - az újabb gyártmányokról készített "felvételek" feldolgozását és a modell-leírások aktualizálását - számítóközpontban, ill. laboratóriumi körülmények között lehet elvégezni egy olyan berendezés

segítségével, amely emellett egyéb feladatokat is elláthat. Kezdetben erre az MTA-SzTAKI robotlaboratóriuma szolgálna, ahol a szükséges eszközök már jelenleg is rendelkezésre állnak. A későbbiekben - az IKARUS számítóközpontjának kiépülésével - ezt a tevékenységet is az IKARUS-ban lehetne végezni. /Ehhez megfelelő számítógép és grafikus display beszerzése jelenti a legfontosabb feltételt./

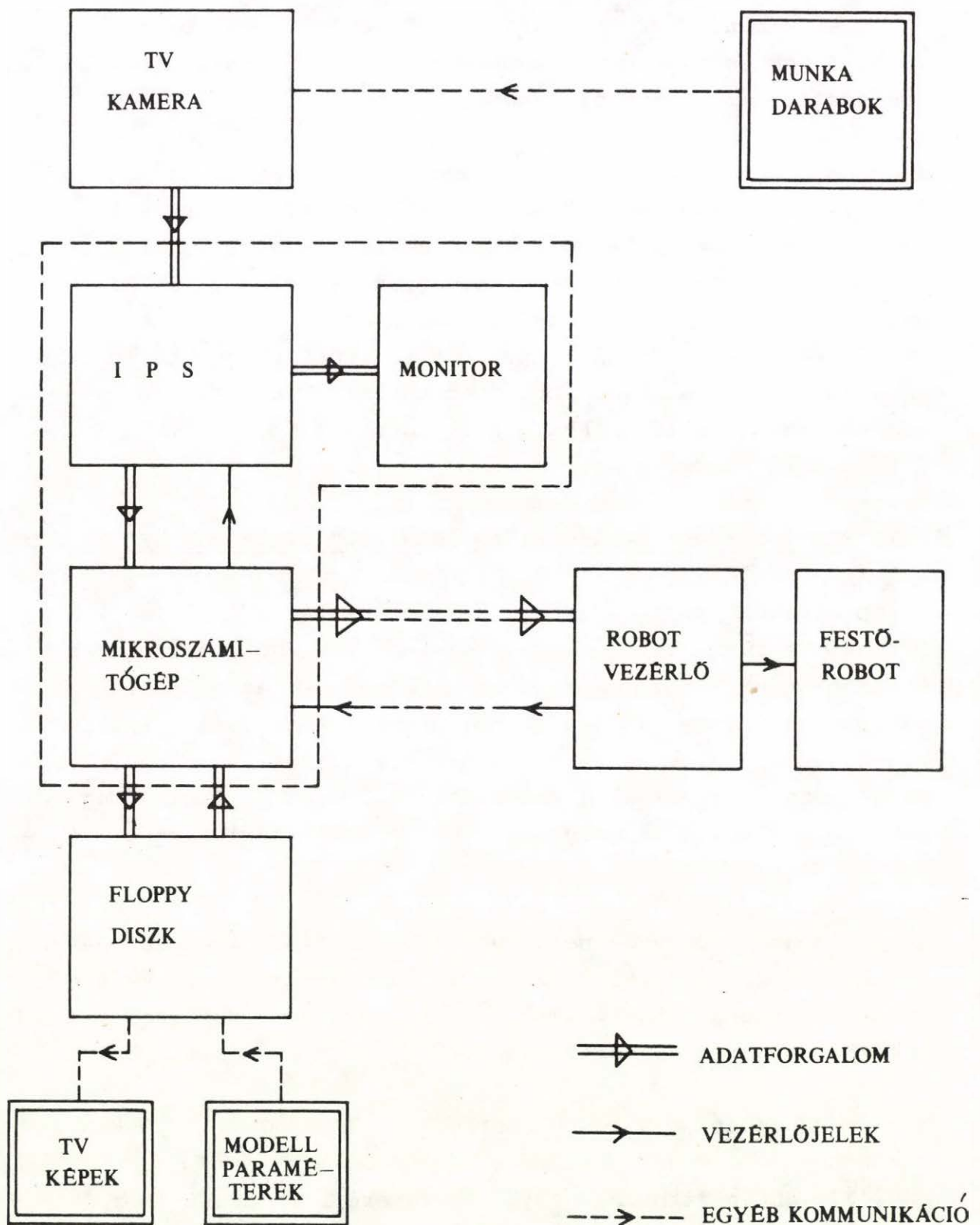
VIII.2 A gyártósor mellett elhelyezendő eszközök

A TV kamera előtt egymás után elhaladó lemez-munkadarabok azonosításához szükséges hardware eszközöket, ill. a javasolt felismerő berendezés elvi vázlatát a VIII.1 ábra mutatja.

A berendezés magját mikroprocesszorok képezik, amelyek pl. az MTA-SzTAKI-ban is használatos M 6800-as vagy INTEL 8080-as típusok lehetnek. Az Intézetben jelenleg is használt képdigitalizáló /IPS/ felépítése lehetővé teszi mikroprocesszorok beépítését. A javasolt mikroszámítógép PROM-jában /Programmable Read Only Memory/ a felismerő programok és a rögzített paraméterek tárolódnak - ezek a gyártmányok változásakor is állandók maradnak. /Esetleges módosítások egyébként PROM cserével hajthatók végre/.

A RAM-ban /Random Access Memory/ a TV kamera és a képdigitalizáló /IPS/ által előállított képmátrixok találhatók. A változtatható tartalmu memóriában mindig két képmátrix található: az éppen a kamera előtt lévő tárgyé és az előzőé - a két alkatrész egyezésének gyors eldönthetősége érdekében.

A mikroprocesszoros berendezés kialakításánál biztosítani kell a nagyfoku megbízhatóságot, a tárolt információ védelmét, a minimális időigényű működést. Azért, hogy a RAM-ból hálózatkimaradás esetén se törlődjön az információ, segédáramforrás beépítésére is szükség van, amelynek segítségével a mikroszámítógép kb. 2 órára megőrzi az információt úgy, hogy közben nem processzál.



VIII. 1. ábra

A mikroszámítógép 64Kbyte-nyi információt képes tárolni, részben a PROM-ban, részben a RAM-ban. Ez a felismerő programok, a képmátrixok és a program számára egy adott pillanatban szükséges adatok tárolására elegendő.

Nagyobb mennyiségű információ tárolását floppy diszk segítségével kívánjuk megoldani. Ezen helyezkednek el az összes lehetséges munkadarabot jellemző adatok, amelyekre a felismerő program különböző moduljai támaszkodnak. Ugyancsak floppy diszkre viszünk fel a tanításhoz szükséges nagyszámu digitalizált televíziós képet - ezek fogják képezni a tanítást biztosító rendszer inputját. Az új munkadarabok "megtanítását" követően a lehetséges tárgyakat leíró adathalmaz ugyancsak floppy diszken jut el a felismerő rendszerhez.

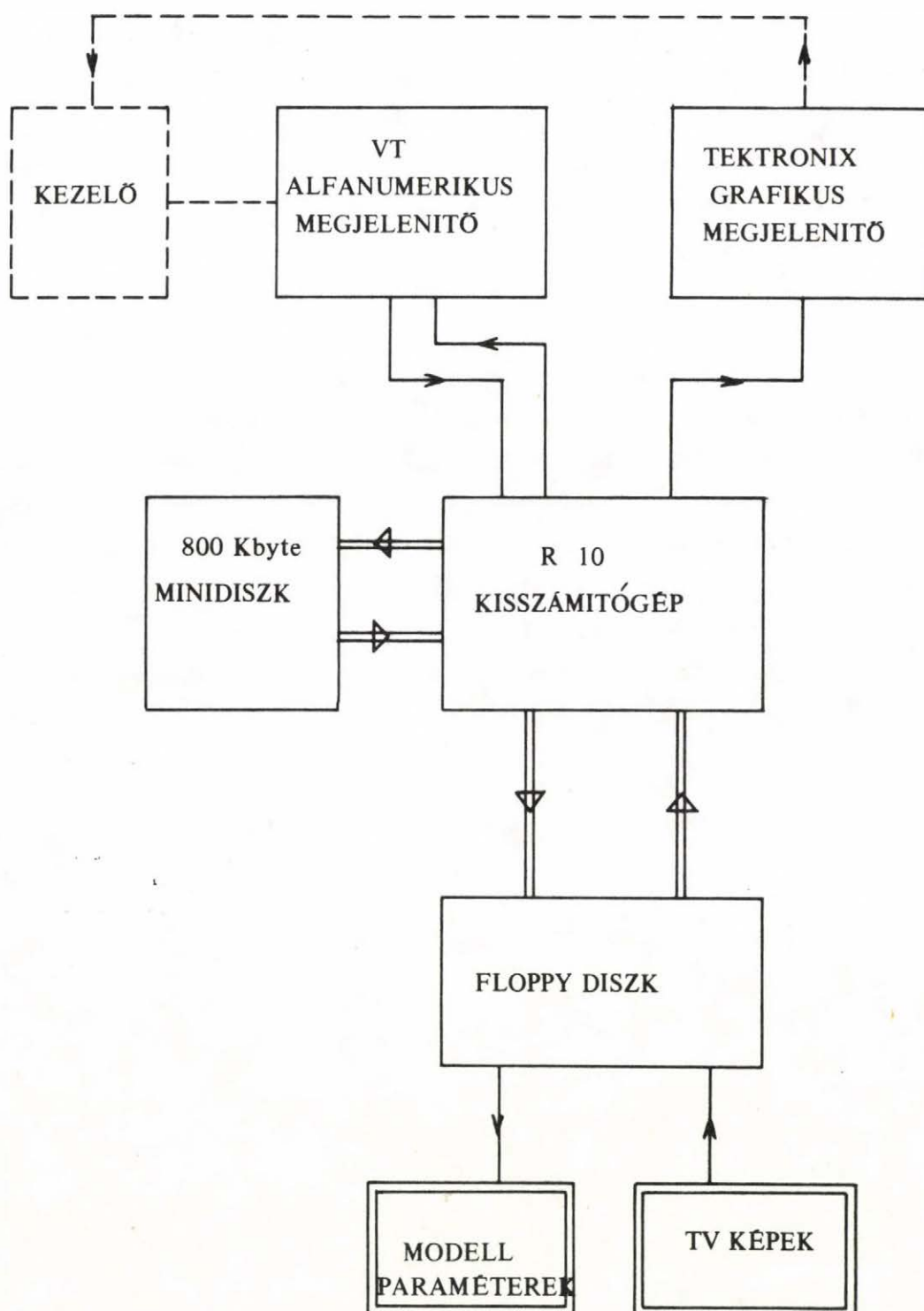
VIII.3 A felismerő rendszer "tanításához" szükséges HW

A "tanításhoz" szükséges berendezés elvi vázlata a VIII.2 ábrán látható. A tanítási tevékenység egy már meglévő számítógépes konfiguráción történhet. Erre igen alkalmas pl. az MTA-SzTAKI robot-laboratóriuma, ahol a floppy diszk kivételével a szükséges eszközök már jelenleg is rendelkezésre állnak. Mivel a felismerő rendszer feltehetőleg kísérleti jelleggel valósulna meg, a várható fejlesztések amúgy is ebben a laboratóriumban történnének.

A tanításhoz szükséges berendezések lényegében azonosak lesznek a rendszer kifejlesztéséhez felhasznált eszközökkel. Ez alól kivétel a floppy diszk, amely a felismerő berendezéssel történő információcserét biztosítja.

VIII.4 Kapcsolódás a festőrobothoz

A VIII.1 ábrán látható, hogy a felismerő berendezés és a festőrobot vezérlőegysége között kétirányú kapcsolatot kell megvalósítani. A festőkamrában egy mechanikus vagy optikai érzékelő észlelő a következő festendő lemez beérkezését - ennek hatásá-



VIII. 2. ábra

ra a felismerő berendezés kimenő pufferja felé egy kiolvasó jel generálódik. A kimenő pufferban sorakoznak a már felismert munkadarabok - illetve a nekik megfelelő festőprogramok - azonosítói /sorszámai/. /V.7. ábra/ A kiolvasó jel hatására a következő munkadarab azonosítója átadódik a vezérlő berendezésnek.

A robotvezérlő berendezés vezérlésében minimális változtatást kell végrehajtani: lehetővé kell tenni mind a kézi /tasztatúráról történő/, mind a felismerő berendezéssel végrehajtott vezérlést, vagyis a festőprogramokat azonosító-kódok fogadását.

A fentiekben vázolt kapcsolat HW realizálása nem jelent különösebb műszaki nehézséget, pontos megtervezése a festőrobot kiválasztása után lehetséges. A felismerő berendezés és a festőrobot közötti kapcsolat lehetőséget ad bővebb információ átadására is. Amennyiben erre a robot belső vezérlését alkalmassá lehet tenni, a IV. fejezetben leírtak alapján mód van a festendő tárgy pozíciójának és orientációjának átadására is - ez a felfüggesztéssel szemben támasztott szigorú megkövetéseken enyhíthető.

IX. A JAVASOLT TÁRGYFELISMERŐ RENDSZER ILLESZTÉSE AZ ÜZEMI KÖRÜLMÉNYEKHEZ

A jelenlegi üzemi körülmények lehetőséget adnak a festőrobot telepítésére. Ehhez természetesen bizonyos módosításokra van szükség a lemezeket szállítószalag felfüggesztő rendszerében: a munkadarabokat elfordulással szemben biztosítani kell. Várhatóan a festőrobot bevezetésének feltételei szigorubbak, mint amiket az alakfelismerő berendezés installálása megkíván. /Pl. a felismerést a lemezek kismértékű elfordulása vagy elmozdulása nem befolyásolja/. A festőrobot számára megengedhető konveyor haladási sebesség az alakfelismerő berendezés számára is megfelelő, az alakfelismerési procedura nem lassítja a teljes gyártósor működését. /ld. V.3 pont/.

A lemez-felismerő berendezést, a szállítószalag egy olyan szakaszán kívánjuk elhelyezni,

- amely az V. fejezetben leírt működési elvnek megfelelően a festőrobottól még elegendő távolságra van ahhoz, hogy a TV kamera és a robot közötti utszakasz megtétele alatt a lemezek azonosítása megtörténhessék;
- ahol a környezeti feltételek a normál ipari zárt tér körülményeinek felelnek meg;
- ahol önálló mesterséges világítás és háttér kialakítására van lehetőség. A felismerendő lemezek egy olyan kamrán haladnak keresztül, amelyben a világítás homogén, továbbá ahol a lemezekről nagyon eltérő színű mesterséges, homogén háttér hozható létre;
- ahol a felismeréshez szükséges összes HW eszköz elhelyezhető és a külső ártalmaktól megóvható.

A szállítószalag közelében folyó egyéb munkák miatti esetleges elektromágneses zavarokat árnyékolással küszöböljük ki. A szükséges zavarvédelmet a megvalósítás során kívánjuk meghatározni.

X. A MEGVALÓSÍTÁS FELTÉTELEI

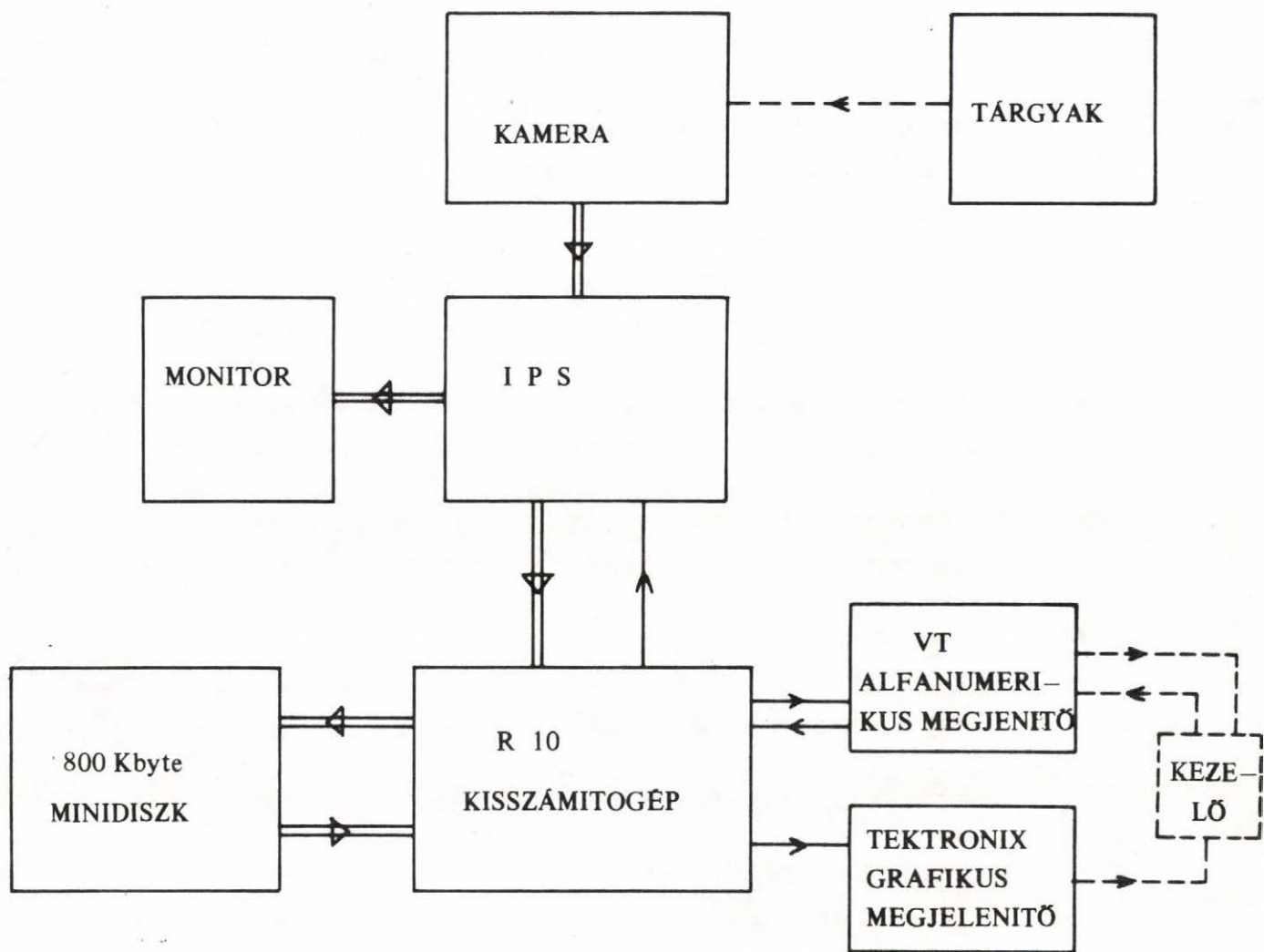
A tanulmányban ismertetett lemez-felismerő berendezés kifejlesztése az MTA-SzTAKi robot-laboratóriumában történne. A teljes rendszer /SW és HW/ elkészítése a szerződés megkötésétől számítva körülbelül 1 évet vesz igénybe. A berendezés és a hozzá szükséges SW elkészítésének és a rendszer üzembehelyezésének költségei mintegy 9-10 millió Ft-ra becsülhetők.

A fejlesztéshez felhasználandó számítógépes konfigurációt a X.1 ábra mutatja. Ennek legfontosabb elemei az alapkiépítésű R 10 számítógép /16 K szó operatív memória, 800 Kbyte minidisk, konzol-display/, továbbá a kamerás képbeviteli berendezés és egy TERKTRONIX grafikus display.

A megvalósítás első lépéseként a software kifejlesztésére kerül sor. A felismerő program paramétereinek meghatározásához, a program egyes moduljainak gyakorlati kipróbálásához a felismerendő tárgyakat laboratóriumban modellezzük. Az IKARUS gyártósorán előforduló kisebb méretű munkadarabok felhasználásával félüzemi körülmények között végezzük el a végső rendszer kialakításához szükséges kísérleteket. Ezzel egyben a megbízó számára is demonstráljuk a rendszer működőképességét.

Második lépésben - felhasználva a kísérletekből nyert tapasztalatokat - a mikroprocesszoros berendezés elkészítésére kerül sor. Ugyancsak ebben a fázisban oldjuk meg a felismerő berendezés és a festőrobot vezérlésének illesztési problémáját.

Utolsó lépésben a komplett rendszer helyszini installálására és beüzemelésére kerül sor.



X. 1. ábra

A TANULMÁNYOK sorozatban 1978-ban megjelentek:

- 74/1978 Vorträge über das graphische Display GD'71
- 75/1978 Vaskövi István - Gallbavy Márta: Anyagszétválasztási rendszerek tervezésének és optimális üzemeltetésének általános megközelítése
- 76/1978 Somló János - Nagy Judit: Módszer munkadarabok forgácsoló megmunkálási folyamatának optimalizálására.
- 77/1978 Szászné Turchányi Piroska: Optimalizálási feladatok csomagkapcsolt számítógéphálózatok tervezésénél
- 78/1978 Darvas Péter - Gallai István - Hosszu Péter - Krammer Gergely: Papers on Computer Graphics
- 79/1978 Dr. Adolf Kotzauer:
Beschriftung und Bemassung von automatisch erstellen Zeichnungen unter Benutzung des graphischen dialogs
- 80/1978 Studies in Applied Stochastic Programming I.
- 81/1978 Peter Bonitz: Ein Beitrag zur Theorie des Entwurfs doppelt gekrümmter Flächen unter differentialgeometrischen und rechentechnischen Aspekten.
- 82/1978 Tankó József: Szabályos job-folyam párok ütemezésének vizsgálata I.
- 83/1978 Tankó József: Szabályos job-folyam párok ütemezésének vizsgálata II.
- 84/1978 Bányász Csilla - Keviczky László: Discrete Time Identification of Linear Dynamic Process
- 85/1978 Dr. Hoffmann Péter: Számítógépes szerszámgépvezérlés egy alkatrészprogramozási módszere

86/1978 Ruda Mihály: A SIS77 statisztikai információs rendszer kialakításának szempontjai, alkalmazásának és továbbfejlesztésének lehetőségei

87/1978 Téli iskola - Operációs rendszerek elmélete

A TANULMÁNYOK sorozatban 1979-ben megjelentek:

88/1979 Renner Gábor - Gaál Balázs - Hermann Gyula - Horváth László - Váradi Tamás: Szoborszerű felületek tervezése és megmunkálása

89/1979 Ruda Mihály: A SIS77 statisztikai információs rendszer (a felhasznált számítástechnikai eszközök, a rendszer szerkezete és programjai)

90/1979 Bányász Csilla - Keviczky László: Optimum Insensitivity of the Linear-continuous Transformation

91/1979 Téli iskola /Szentendre/

92/1979 Bolla M., Csáki P., Fischer J., Herodek S., Hoffmann Gy., Kutas T., Telegdi L., Wittman I.: A balatoni ökoszisztéma modellezése

93/1979 Andor László: Kisgépes adatbázis kezelő rendszer

94/1979 Gertler János: Egy statisztikus szűrési eljárás



